

**Министерство образования и науки Российской Федерации** федеральное  
государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
Направление подготовки 12.04.01 Приборостроение  
Отделение контроля и диагностики

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
<b>Радиоволновой метод определения местоположения гидратных пробок в газопроводах</b>

620.179.152:620.192:622.691.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ6А	Шибико Анатолий Вячеславович		

**Руководитель**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения контроля и диагностики	Шиян В.П.	к.ф.-м.н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Данков А.Г.	к.и.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Анищенко Ю.В.	к.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Приборостроение	Вавилова Г.В.	к.т.н.		

Томск – 2018 г.

## Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
Р1	Применять навыки эффективной индивидуальной и командной работы, включая руководство командой, работу по междисциплинарной тематике с учетом этики и корпоративных интересов, в том числе и на иностранном языке.	Требования ФГОС (ОК-3, ОПК- 1, ОПК-3, ПК-12, ПК-16, ПК-17, ПК-18, ПК-22), ), СУОС ТПУ (УК-1, УК-3, УК-4, УК-5, УК-6), CDIO Syllabus (2.1, 2.3, 2.4, 2.5, 3.1, 3.2, 3.3, 4.1), Критерий 5 АИОР (п. 2.2, п. 2.3, п. 2.4, п. 2.5, п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.158. Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 19.026 Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса, 19.032 Специалист по диагностике газотранспортного оборудования, 40.008 Специалист по организации и управлению научно-исследовательскими и опытноконструкторскими работами)
Р2	Применять навыки управления разработкой и производством продукции на всех этапах ее жизненного цикла с учетом инновационных рисков коммерциализации проектов, в том числе в нестандартных ситуациях.	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2, ОК-3, ОПК1, ПК-6, ПК -8, ПК-16, ПК-18, ПК-19, ПК-20), СУОС ТПУ (УК-2, УК-6), CDIO Syllabus (2.1, 2.4, 2.5, 3.2, 4.1, 4.2, 4.3, 4.6, 4.7, 4.8), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, п. 2.3, п. 2.5, п.2.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.158 Специалист в области контрольно-измерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 06.005 Инженер-радиоэлектроник, 29.006 Специалист по проектированию систем в корпусе, 40.011 Специалист по научноисследовательским и опытноконструкторским разработкам)

P3	Собирать, хранить, обрабатывать, использовать, представлять и защищать информацию при соблюдении требования информационной безопасности и корпоративной культуры.	Требования ФГОС (ОК-1, ПК-4, ПК-17, ПК-19), СУОС ТПУ (УК-5, УК-6), CDIO Syllabus (1.1, 2.2), Критерий 5 АИОР (п. 1.1, п. 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.158 Специалист в области контрольноизмерительных приборов и автоматики,
----	---	---

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
		40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 19.026 Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса)
P4	Применять навыки планирования, подготовки, проведения теоретических и экспериментальных исследований, а также представления и интерпретации полученных результатов.	Требования ФГОС (ОПК-1, ОПК-2, ПК-1, ПК-2, ПК-15, ПК-17), СУОС ТПУ (УК-1), Критерий 5 АИОР (п. 1.1, п. 1.2, п. 1.4), CDIO Syllabus (2.1, 2.2, 4.3), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.158 Специалист в области контрольноизмерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 40.008 Специалист по организации и управлению научноисследовательскими и опытноконструкторскими работами)
P5	Разрабатывать нормативную, техническую и методическую документацию в области неразрушающего контроля и измерительной техники.	Требования ФГОС (ПК-3, ПК-9, ПК-11, ПК-17), CDIO Syllabus (1.2, 4.4), Критерий 5 АИОР (п. 1.3, п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.158 Специалист в области контрольноизмерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 06.005 Инженеррадиоэлектроник)

P6	Быть готовым к комплексной профессиональной деятельности при разработке инновационных и эффективных методов и средств измерения и контроля.	Требования ФГОС (ПК-5, ПК-6, ПК-8, ПК-10, ПК-11, ПК-13, ПК-14, ПК-18, ПК-20, ПК-21, ПК-22), СУОС ТПУ (УК-1), CDIO Syllabus (1.2, 1.3, 2.3, 4.1, 4.4, 4.5), Критерий 5 АИОР (п. 1.2, п. 1.3, п. 1.4, п.1.5, п. 1.6), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (40.158 Специалист в области контрольноизмерительных приборов и автоматики, 40.108 Специалист по неразрушающему контролю, 06.005 Инженер-радиоэлектроник, 40.010 Специалист по техническому контролю качества продукции, 40.011 Специалист по научноисследовательским и опытноконструкторским разработкам)
Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требование ФГОС ВПО, критериев и/или заинтересованных сторон
P7	Разрабатывать и внедрять энерго- и ресурсоэффективные технологические процессы производства приборных систем с использованием высокотехнологичных средств измерения и контроля.	Требования ФГОС (ПК-7, ПК-8, ПК-10, ПК-11, ПК-12, ПК-14, ПК-21), CDIO Syllabus (1.3, 4.1, 4.2, 4.5, 4.6), Критерий 5 АИОР (п. 1.2, п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов EURACE и FEANI, требования профессиональных стандартов (19.026 Специалист по техническому контролю и диагностированию объектов и сооружений нефтегазового комплекса, 19.032 Специалист по диагностике газотранспортного оборудования)

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
 образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности

Направление подготовки 12.04.01 Приборостроение

Уровень образования Магистратура

Отделение контроля и диагностики

Период выполнения: (осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года)

Форма предоставления работы:

магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ – ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом работы:	
------------------------------	--

Дата контроля	Название раздела(модуля)/ вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела
10.11.2017	Литературный обзор по теме	10
10.02.2018	Анализ современных методов дефектоскопии трубопроводах	10
10.03.2018	Изучение оборудования, методов расчета, программного обеспечения, подготовка материалов к проведению экспериментов.	10
23.04.2018	Проведение экспериментальных исследований	15
30.04.2018	Анализ результатов экспериментов	15
01.05.2018	Создание имитационной модели по определению местоположения гидратных пробок	15
10.05.2018	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
12.05.2018	Социальная ответственность	10
20.05.2018	Заключение	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения контроля и диагностики	Шиян В.П.	к.ф.-м.н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Приборостроение	Вавилова Г.В.	к.т.н.		

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности  
Направление подготовки 12.04.01 Приборостроение  
Отделение контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ Вавилова Г.В.  
(Подпись) (Дата)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы В**

форме:

магистерской диссертации
--------------------------

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ6А	Шибико Анатолию Вячеславовичу

Тема работы:

Радиоволновой метод определения местоположения гидратных пробок в газопроводах	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	10267/с 30.11.2016

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Патент Р.Ф. №202046 Способ обнаружения дефектов в трубопроводах Радиоимпульсная рефлектометрия в СВЧ диапазоне. Дефекты: гидратные пробки, поршни, инородные объекты в газопроводах.
---------------------------------	--

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	1. Методы обнаружения дефектов в трубопроводах. Разработка структурной и принципиальной электрической схемы измерительной части радиоволнового дефектоскопа. Экспериментальная проверка радиоволнового дефектоскопа для определения местоположения инородных объектов в трубопроводах. 2. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. 3. Социальная ответственность 4. Заключение и выводы
<b>Перечень графического материала</b>	1. Презентация, выполненная в MS PowerPoint
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультанты</b>
1. Литературный обзор; 2. Материалы и методы исследования; 3. Экспериментальная часть; 4. Заключение.	Шиян Владимир Петрович
5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	Данков Артем Георгиевич
6. Социальная ответственность.	Анищенко Юлия Владимировна
<b>Название разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Создание имитационной модели в National Instruments Labview	

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения контроля и диагностики	Шиян В.П.	к.ф.-м.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ6А	Шибико Анатолий Вячеславович		



**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА**  
**«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И**  
**РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
1БМ6А	Шибико Анатолию Вячеславовичу

Школа	ИШНКБ	Отделение школы	ОКД
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Приборостроение

<b>Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:</b>	
1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Работа с информацией, представленной в российских и иностранных научных публикациях, аналитических материалах, статических бюллетенях и изданиях, нормативно-правовых документах; наблюдение.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	1. Структура работ в рамках научного исследования 2. Определение трудоемкости выполнения работ 3. Выполнение SWOT– анализа проекта. 4. Оценка готовности проекта к коммерциализации.
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	1. Разработка графика проведения научного исследования 2. Расчет бюджета научно-технического исследования (НТИ)
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	1. Оценка сравнительной эффективности разработки
<b>Перечень графического материала:</b>	

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Альтернативы проведения НИ
3. График проведения и бюджет НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Данков А.Г.	К.И.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ6А	Журавский Е.Е.		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

### «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
1БМ6А		Шибико Анатолию Вячеславовичу	
Школа	ИШНКБ	Отделение школы	
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	ОКД

#### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор алгоритм, методика, рабочая зона) и область его применения	Резцы горных и дорожных машин. Детекторная матрица Perkin Elmer XRD 1621AN/CN , применяется при контроле качества сварных и паяных соединений, литья, элементов продукции машиностроения и приборостроения в системах цифровой радиологии.
---	--

#### Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Производственная безопасность 1.1 Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения.	При оценке условий труда должно учитываться воздействие следующих опасных и вредных – повышенный уровень ионизирующего излучения; – опасный уровень напряжений в электрических цепях, замыкание которых может пройти через тело человека;
2. Экологическая безопасность:	Утилизация оборудования. Воздействие ионизирующего излучения на окружающую среду.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Возможные ЧС: пожар.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	Организация и соблюдение требований радиационной безопасности в помещении.

#### Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОКД	Анищенко Ю.В.	к.т.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1БМ6А	Шибико Анатолий Вячеславович		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 74 с., 26 рис., 3 табл., 21 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: радиоволновая дефектоскопия, дефектоскопия газопроводов, обнаружение гидратных пробок, неразрушающий контроль.

Объектом исследования является метод радиоволновой дефектоскопии трубопроводов.

Цель работы – определение возможностей радиоволновой дефектоскопии для диагностики трубопроводов, проведение экспериментов, по оценке чувствительности метода.

В процессе работы проводились:

- исследование методов обнаружения дефектов в трубопроводах;
- сборка лабораторного макета дефектоскопа;
- оценка параметров согласования СВЧ-тракта лабораторного макета дефектоскопа;
- эксперименты по оценке чувствительности метода радиоволновой дефектоскопии газопроводов;
- эксперименты по обнаружению гидратных пробок в газопроводах;
- разработаны структурная и принципиальная электрическая схема измерительной части радиоволнового дефектоскопа.

В результате работы получены положительные результаты испытания метода радиоволновой дефектоскопии трубопроводов и метода обнаружения гидратных пробок, которые можно использовать в качестве исходных данных для создания полевой модели устройства.

## Определения

В данной магистерской диссертации применены следующие термины с соответствующими им определениями:

**Радиоволновая дефектоскопия** — метод получения информации, с помощью которого возможен поиск дефектов контролируемого изделия, путем регистрации и анализе изменения параметров, которыми обладают взаимодействующие с объектом контроля электромагнитные волны радиодиапазона (их длина составляет от 0,01 до 1 м).

**Микроволновое излучение, сверхвысокочастотное излучение (СВЧизлучение)** — электромагнитное излучение, включающее в себя дециметровый, сантиметровый и миллиметровый диапазоны радиоволн (длина волны от 1 м — частота 300 МГц до 1 мм — 300 ГГц).

**Рефлектометрия** – это технология, позволяющая определять различные характеристики исследуемой среды по отражению зондирующего сигнала.

**Волновод** — искусственный или естественный направляющий канал, в котором может распространяться волна. При этом поток мощности, переносимый волной, сосредоточен внутри этого канала или в области пространства, непосредственно примыкающей к каналу.

## Нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ Р 1.5 – 2012 Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила построения, изложения, оформления и обозначения.

2. ГОСТ 2.104 – 2006 Единая система конструкторской документации.

Основные надписи.

3. ГОСТ 2.105 – 95 Единая система конструкторской документации.

Общие требования к текстовым документам.

4. ГОСТ 2.106 – 96 Единая система конструкторской документации.

Текстовые документы.

5. ГОСТ 3.1102 – 2011 Единая система технологической документации.

Стадии разработки и виды документов.

6. ГОСТ 3.1105 – 2011 Единая система технологической документации.

Формы и правила оформления документов общего назначения.

7. ГОСТ 7.0.5 – 2008 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая ссылка.

8. ГОСТ 7.1 – 2003 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание.

9. ГОСТ 7.9 – 95 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Реферат и аннотация.

10. ГОСТ 7.32 – 2001 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчёт о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.

11. ГОСТ 8.417 – 2002 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин.

## Оглавление

Введение	18
1. Системный анализ	18
1.1 Анализ востребованности	18
1.3 Методы и средства контроля линейной части магистральных трубопроводов	20
Стационарная система контроля на основе акустической эмиссии	20
Автоматическая поисковая система «Эхо»	23
1.4 Радиоволновой метод контроля трубопроводов	24
2.1. Условия образования и параметры существования гидратов	27
2.2 Предупреждение образования и ликвидация гидратов	28
воздействии. Введение СВЧ энергии в трубопровод	30
3 СВЧ метод контроля состояния трубопроводов	32
3.1 Оптимизация выбора параметров зондирующих СВЧ сигналов	33
Расчет потерь в трубопроводе из меди	35
Расчет потерь в трубопроводе из стали марки Ст20	36
3.2 Метод радиоимпульсной рефлектометрии	37
Генераторы наносекундных СВЧ импульсов	40
Модулятор	40
Ферритовый вентиль	40
Циркулятор волноводный	41
Детектирование сигнала	41
Измерение временных интервалов	41
Имитатор трубопровода	41
3.2.2 Измерение параметров согласования волноводного тракта лабораторного макета	42

4 Разработка имитационной модели в National Instruments LabVIEW .....	45
4.1 Разработка имитационной модели лабораторной установки .....	45
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	62
5.1 Предпроектный анализ .....	62
5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования .....	62
5.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	63
К ВБ□□i □ , .....	65
5.1.3 SWOT-анализ .....	65
5.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации .....	69
5.2 Инициация проекта .....	72
5.2.1 Цели и результат проекта .....	72
5.2.2 Организационная структура проекта .....	74
5.2.3 Ограничения и допущения проекта.....	75
5.3 Планирование управления научно-техническим проектом .....	75
5.3.1 Структура работ в рамках научного исследования .....	76
5.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ .....	77
5.3.3 Разработка графика проведения научного исследования .....	78
5.3.4 Бюджет научного исследования .....	82
(за вычетом отходов).....	82
(экспериментальных) работ .....	83
5.3.4.3 Основная заработная плата .....	84
5.3.4.4 Расчет дополнительной заработной платы.....	86
5.3.4.5 Расчет отчислений на социальные нужды.....	87
5.3.4.6 Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями .....	87



5.3.4.7 Расчет накладных расходов .....	88
5.3.5 Реестр рисков проекта .....	88
5.4 Определение эффективности исследования.....	90
Социальная ответственность Введение.....	93
6.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при проведении измерений СВЧ дефектоскопом .....	94
6.3 Мероприятия по выполнению норм искусственного освещения .....	96
безопасности .....	97
6.4 Мероприятия по обеспечению безопасности оборудования для работников .....	100
6.5.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды. ....	102
6.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. ....	104
Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.....	104
Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.....	104
Список публикаций .....	107
Заключение .....	108
Список используемых источников.....	109
4 Development of a simulation model in National Instruments LabVIEW .....	111

## **Введение**

В течении работы магистральных трубопроводов нередко затруднения эксплуатации, вызванные закупоркой полного сечения газонефтепровода (парафиновые и коррозионные отложения, гидратные пробки, застрявшие очистные устройства и т.п.).

Поскольку рабочее давление в магистральных трубопроводах может достигать 10 Мпа и более, нарушение сечения может привести к катастрофическим последствиям. Поэтому, для недопущения аварийного разрыва трубы, необходимо немедленно применять меры по устранению выявленных особо опасных мест.

Обеспечение надежной и безопасной эксплуатации магистральных газонефтепроводов является одной из важнейших задач нефтегазовых компаний. От этого во многом зависит безопасная работа производственного персонала, безопасность жителей населенных пунктов, а также экологическая безопасность окружающей среды.

Существует множество методов контроля линейной части магистральных трубопроводов, однако они не позволяют оперативно и с высокой точностью проводить диагностику газонефтепровода в стесненных условиях, под протяженными препятствиями, а также без остановки перекачки.

## **1. Системный анализ**

### **1.1 Анализ востребованности**

Магистральные, технологические и промысловые газонефтепроводы представляют собой сложные инженерные конструкции, проложенные во всех регионах России и эксплуатируемые в разнообразнейших природноклиматических условиях – от Крайнего Севера, Западной Сибири до средней полосы и пустынных южных районов.

Общая протяженность линейной части магистральных трубопроводов на территории Российской Федерации составляет более 255 029 км, из которых:

магистральные газопроводы –174 121 км; магистральные нефтепроводы — 55 326 км; магистральные продуктопроводы — 25 582 км, в том числе:

аммиакопроводы — 1396 км; трубопроводы по доставке взрывоопасного сырья – 4297 км.

По данным Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору за 12 месяцев 2017 г. на подконтрольных ОПО магистрального трубопроводного транспорта произошли 12 аварий.

Полный ущерб от аварий в 2017 г. составил 318 915 тыс. руб.

В результате разрушений конструктивных элементов трубопровода и утечки транспортируемого продукта происходят следующие процессы:

- выбросы продукта, его мгновенное или постепенное испарение;
- дисперсия газа с нейтральной или положительной плавучестью;
- дисперсия тяжелого газа;
- пожары;
- взрывы;
- нарушение целостности почвенно-растительного покрова;
- разлет осколков;
- воздушные и сейсмические волны.

Проведенные проверки обеспечения требований промышленной безопасности в отношении поднадзорных юридических лиц и мониторинг предприятий трубопроводного транспорта выявили:

1. несвоевременное проведение обследований объектов магистрального трубопроводного транспорта современными средствами диагностики, что существенно снижает уровень безопасной эксплуатации ОПО;
2. нарушения технологии и неправильную организацию производства работ, нарушения производственной дисциплины [1].

Условия работы нефтегазопроводов отличаются наличием как природно-климатических нагрузок извне, так и технологических нагрузок, связанных с агрессивностью перекачиваемого продукта, а также механическими ударными и циклическими нагрузками при эксплуатации.

Кроме того, в ходе технического обслуживания магистральных трубопроводов нередко затруднения эксплуатации, вызванные нарушением полнопроходного сечения (внутренние коррозионные и парафиновые отложения, гидратные и ледяные пробки, застрявшие очистные устройства и т.п.).

10 ноября 2013 г. в ООО «Хужир Энтерпрайз», ГОК Коневинское (поднадзорно Забайкальскому управлению Ростехнадзора) при ликвидации ледяной пробки на изогнутом участке трубы давлением воздуха труба сорвалась с креплений и придавила проходчиков и горного мастера.

Причины несчастного случая:

- нарушения паспорта установки трубопровода;
- допуск к производству работ по ликвидации ледовой пробки в подземной горной выработке рабочих без наряда-задания, не ознакомленных с инструкцией по производству работ.

### **1.3 Методы и средства контроля линейной части магистральных трубопроводов**

#### ***Стационарная система контроля на основе акустической эмиссии***

Способ акустико-эмиссионного контроля технического состояния трубопровода заключается в том, что по длине трубопровода размещают АЭ преобразователи, нагружают трубопровод, регистрируют сигналы акустической эмиссии и по их параметрам судят о наличии источников АЭ, связанных с развивающимися дефектами или течами, и степени поврежденности трубопровода.

Способ отличается тем, что трубопровод оснащают стационарными герметичными АЭ преобразователями с выходными кабелями связи. Кабели связи через защитный канал выводят в доступное место, например на поверхность земли, и закрывают защитным корпусом – ковером. На концах кабелей связи устанавливают разъемы для коммутации с мобильной аппаратной частью АЭ системы. Контроль осуществляют с необходимой периодичностью путем подключения стационарных датчиков к мобильному блоку сбора и обработки сигналов.

Таким образом, одной мобильной аппаратной частью АЭ системы можно проводить контроль большого количества объектов, например, водных переходов или разных трубопроводов практически с любой заданной периодичностью. При этом обеспечивается стабильность проведения контроля и возможность сравнения результатов АЭ контролей, проводимых в разное время, для прогнозирования развития ситуации. При первом обследовании акустические сигналы записываются на носителе информации и хранятся в паспорте трубопровода. При последующих обследованиях эти данные используются как эталон для сравнения с полученными измерениями акустических характеристик трубопровода и оценки возможных изменений состояния трубопровода.

При такой компоновке решаются две основные проблемы.

Первая: кратно снижается стоимость системы, т.к. стоимость АЭ преобразователей и кабелей связи незначительна по отношению к стоимости аппаратной части АЭ системы.

Вторая: исключается наиболее трудоемкая операция при проведении периодического АЭ контроля, а именно открытие шурфов и установка АЭ преобразователей, которая проводится один раз при монтаже системы. Данное изобретение направлено на снижение стоимости диагностики и повышение чувствительности диагностики за счет качественной установки стационарных АЭ преобразователей. Повышение достоверности диагностики за счет

обеспечения постоянства условий измерений (стабильности параметров). Система поддается модернизации, так как можно применять различные, более современные мобильные аппаратные части АЭ системы, для единожды установленных стационарных герметичных АЭ преобразователей.

Схема реализации данного способа представлена на рисунке 1.

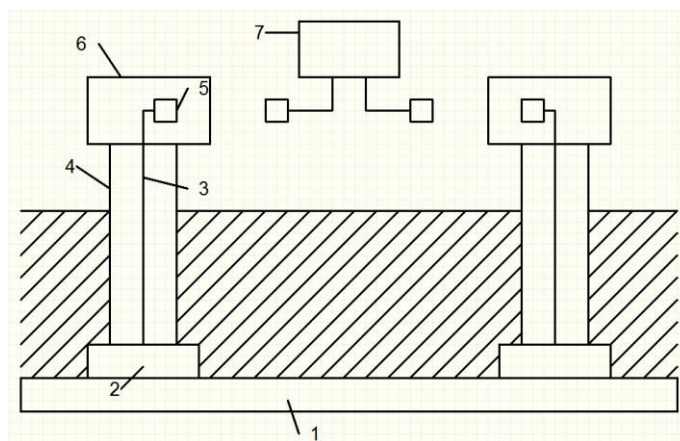


Рисунок 1 – Структурная схема устройства для акустико-эмиссионного контроля технического состояния трубопроводов

Предложенный способ осуществляется следующим образом. Вновь строящиеся, реконструируемые или диагностируемые трубопроводы или их участки 1 оснащают стационарными герметичными АЭ преобразователями 2 и кабелями связи 3. АЭ преобразователь 2 состоит из датчика, совмещенного с предусилителем. Как правило, используются активные датчики с возможностью излучения высокочастотных импульсов для настройки и калибровки высокочастотной аппаратуры, например ПУ ПЭПЖТ 200. Датчик с предусилителем помещают в герметичный корпус типа стакан с крышкой и с помощью прижимной оснастки через контактную смазку (например, эпоксидную смолу), обеспечивающую максимальный акустический контакт, устанавливают непосредственно на тело трубопровода. Корпус заливают герметизирующим веществом, например компаундом, на основе эпоксидной смолы. Кабель связи 3, например РК50, выводится через герметизирующий грибковый затвор в трубу 4 и выходит на поверхность выше уровня земли.

Кабель заканчивается стандартным разъемом 5, например СР50, и помещается в специально оборудованный корпус – ковер 6, предохраняющий от внешних воздействий.

За счет качественной установки АЭ преобразователей с тарированным усилием прижима повышается чувствительность диагностики, чего сложно добиться при установке съемных датчиков в полевых условиях, а также повышается достоверность диагностики за счет обеспечения постоянства условий измерения (стабильность параметров) и возможности сравнения данных АЭ контроля полученных в разное время.

При проведении контроля мобильная аппаратная часть 7 АЭ системы коммутируется с АЭ преобразователем через разъем 5. После чего проводят АЭ контроль традиционными способами. Аппаратная часть 7 устанавливается на мобильном средстве, например автомобиле, и перемещается либо вдоль трубопровода, либо от объекта к объекту. Таким образом, одной мобильной аппаратной частью 7 АЭ системы можно контролировать большое количество переходов, трубопроводы любой длины, практически с любой заданной периодичностью и в любое время года [2].

### ***Автоматическая поисковая система «Эхо»***

Система предназначена для оперативного обнаружения мест сужения проходного сечения трубопровода (отложения парафина, механических примесей), в том числе местоположение застрявших технических устройств (диагностические снаряды, очистные поршни и скребки).

При условии, что сечение трубы перекрыто поршнем не полностью (продолжается транспортирование нефти), его местонахождение можно определить по следующей методике:

1. выделяется протяженный участок трассы с застрявшим очистным поршнем;

2. методом экспертной оценки на данном участке выявляются места наибольшей вероятности остановки поршня (крутые повороты, низины, подъемы);

3. проводится измерение уровней и спектра шума с интервалом 300500 м с регистрацией акустограмм в памяти компьютера; для записи 2 датчика, разнесенные на расстояние до 200 м, устанавливаются непосредственно на трубопроводе или контактируют с последним при помощи металлического штыря длиной 1 м;

4. прослушивание записанных акустограмм или компьютеризированный анализ при помощи корреляционного способа обеспечивают точное выявление местонахождения поршня (или другого препятствия течению жидкости в трубопроводе).

Технические характеристики акустической системы «ЭХО»:

- точность обнаружения не более 0,5м; □  
шаг сканирования трубопровода 150-200м;
- время обработки одного участка не более 5 мин.

#### **1.4 Радиоволновой метод контроля трубопроводов**

Для решения задачи обнаружения инородных объектов внутри трубопроводов предлагается использовать радиоволновой метод, известный в технике обнаружения неоднородностей в линиях передачи как метод радиоимпульсной рефлектометрии.

Суть метода состоит в зондировании линии передачи (трубопроводаволновода) СВЧ импульсом наносекундной длительности с последующей фиксацией времени прохода отраженного от неоднородности импульса к входному концу волновода.



С учетом анализа рассмотренных вариантов применения данного метода, можно утверждать, что для повышения точности и оперативности проведения диагностики необходимо устройство, имеющее следующие характеристики:

- ✓ минимальную длительность зондирующего импульса (менее 10 нс) для более точного обнаружения объекта;
- ✓ высокую точность измерения временных интервалов;
- ✓ достаточный энергетический потенциал системы;
- ✓ высокую степень автоматизации съема и обработки информации (отделение сигналов от помехи извлечение из сигналов максимум полезной информации о целях).

## 2 Инородные объекты в трубопроводах

### 2.1 Гидраты

Природный газ при определенном давлении и температуре способен образовать твердые соединения с водой – гидраты (кристаллогидраты).

Гидрат метана, имеющий химическую формулу  $CH_4 \cdot 7 \cdot H_2O$ , содержит в  $1 \text{ м}^3$  1128 кг метана и 8872 кг воды, причем объем этого гидрата в 180 раз меньше объема газообразного метана.

Полости, комбинируясь между собой, образуют сплошную структуру различных типов. По принятой классификации они называются КС, ТС, ГС — соответственно кубическая, тетрагональная и гексагональная структура.

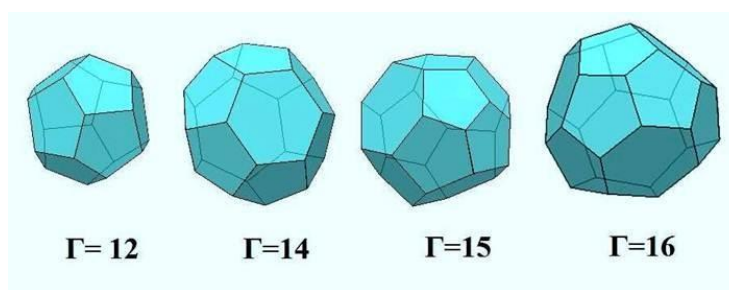


Рисунок 2 – Кристаллические модификации газогидратов (Г – число граней)



Рисунок 3 – Газовые гидраты

Гидраты ПГ по внешнему виду это белая кристаллическая масса, похожая на лед или снег. Отлагаясь на стенках труб, гидраты резко уменьшают их пропускную способность и тем самым нарушают нормальный режим работы магистрали.



Рисунок 4 – Газовые гидраты в пробоотборнике

Информация о возможном местоположении гидратов очень важна для своевременной их ликвидации. Для правильного определения места образования гидратов необходимо знать состав газа, его плотность, изменения давления и температуры и влажность газа.

Скопление гидратов часто наблюдается в шлейфах–газопроводах, подключающих скважины к промысловому газосборному коллектору. Гидраты в шлейфах образуются также на клапанах, в местах установки задвижек, кранов и карманов, в местах ответвлений. Гидраты могут скапливаться и на прямолинейных участках газопроводов. В зависимости от скорости потока гидраты отлагаются в газопроводе в виде спирального кольца или сегмента.

Зная влажность и состав подаваемого газа, а также зависимость этих параметров от давления и температуры, можно определить время начала образования гидратов, место и скорость накопления их в газопроводе.

## **2.1. Условия образования и параметры существования гидратов**

Для образования гидратов необходимо, чтобы парциальное давление паров воды над гидратом было выше парциального давления этих паров в составе гидрата. На изменение температуры образования гидратов влияют: состав гидратообразователя, чистота воды, турбулентность, наличие центров

кристаллизации и т.д. Изменение равновесия температуры гидрато-образования также зависит от скорости охлаждения системы гидрато-образователь–вода.

На практике условие образования гидратов определяют с помощью равновесных графиков или расчетным путем – по константам равновесия. Чем выше плотность газа, тем выше температура гидратообразования. Если на увеличение плотности ПГ влияют негидратообразующие компоненты, то температура его гидратообразования понижается [4].

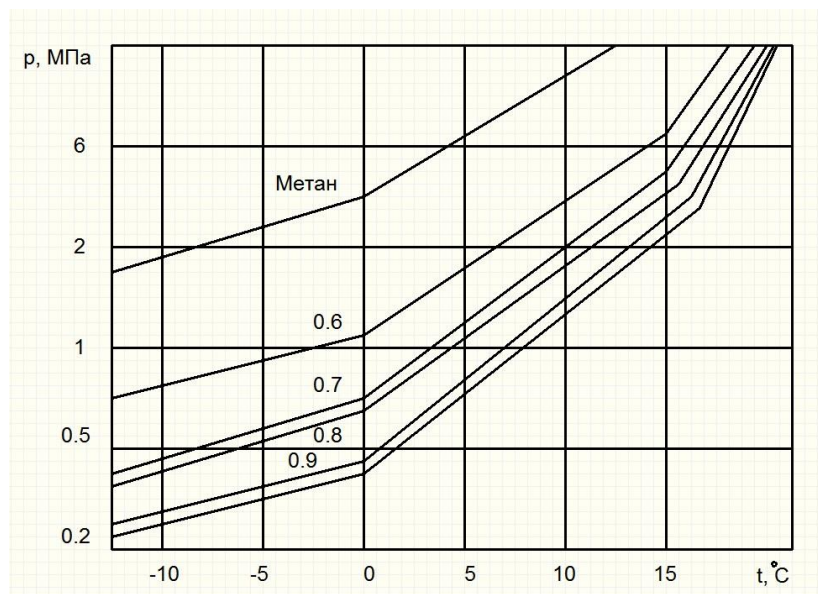


Рисунок 5 – Равновесные кривые образования гидратов ПГ различной относительной плотности

Из рисунка 5 видно, что гидрат  $CH_4$  при 0 °С устойчив, если давление равно 4.0 МПа или более.

## 2.2 Предупреждение образования и ликвидация гидратов

Для предупреждения гидратообразования применяются различные химреагенты. Важно понимать, что эти вещества не препятствуют гидратообразованию, а только ингибируют этот процесс. То есть они способствуют уменьшению температуры или увеличению давления, при которых происходит образование гидрата. Одного лишь присутствия ингибитора недостаточно для того, чтобы предупредить образование гидрата.

Процесс гидратообразования для природного газа в присутствии ингибитора все же возможен, но для этого будут уже необходимы более высокие значения давления и более низкие температуры.

В качестве ингибиторов гидратообразования в газовой промышленности Западной Сибири обычно используют спирты (в основном метанол), а также могут быть использованы и гликоли (в основном этиленгликоль или триэтиленгликоль). Твердые вещества с ионными связями, такие как хлорид натрия (поваренная соль), также оказывают ингибирующее воздействие на гидратообразование.

Осушкой называется процесс удаления влаги из природного газа. Она широко применяется как способ предупреждения гидратообразования. Если в газе не содержится влаги, образование гидрата становится невозможным.

Если влага содержится в очень малом количестве, вероятность образования гидрата будет мала.

Еще одним средством борьбы является недопущение режимов температуры и давления, при которых возможно образование гидратов. Для предупреждения гидратообразования достаточно поддерживать температуру среды выше температуры образования гидрата (с учетом достаточного запаса надежности). Или же, как другой вариант, можно поддерживать рабочее давление в системе ниже давления гидратообразования.

Другой способ устранения гидратных пробок заключается в их расплавлении путем нагрева. Подвод тепла к трубопроводу может осуществляться путем орошения трубопровода горячим паром, путем электрообогрева или иными способами, но при использовании этого метода следует также соблюдать осторожность. Данный метод несет в себе большую опасность, заключающуюся в том, что если начать расплавлять гидратную пробку в центральной ее части, то давление там может стать очень высоким, что может привести к разрыву трубы.

## **2.3 Использование энергии ВЧ и СВЧ ЭМП для устранения гидратных пробок в трубопроводах**

На стенках трубопроводов могут образовываться твёрдые отложения, которые приводят к их полной закупорке. В результате возникает проблема разрушения образовавшейся пробки. Для удаления пробок обычно используют тепловые, химические и механические методы. Но все они технически очень сложны, требуют больших финансовых затрат или загрязняют окружающую среду. Требуется разработка метода очистки трубопроводов менее сложного, затратного и экологически безопасного.

Весьма перспективным представляется использование энергии ВЧ или СВЧ ЭМП для восстановления скважин и участков трубопроводов, простаивающих из-за образования гидратных пробок.

Газогидраты представляют собой в электродинамическом отношении диэлектрик со слабой электропроводностью. При распространении в них ЭМ волн ВЧ и СВЧ диапазона наблюдается частотная дисперсия диэлектрической проницаемости, которая вызвана ориентационной поляризацией полярных компонент. За счет диэлектрических потерь происходит диссипация энергии ЭМ волн. В результате появления в среде объемных тепловых источников происходит нагрев и становится возможным разложение газогидрата на газ и воду в объеме.

## **2.4 Разложение газогидрата в трубопроводе при СВЧ ЭМ воздействии. Введение СВЧ энергии в трубопровод**

Предлагается использовать мощное микроволновое излучение, которое поступает непосредственно в исследуемый трубопровод через специальное окно ввода с фторопластовой вставкой.

Схема реализации данного способа приведена на рисунке 6.

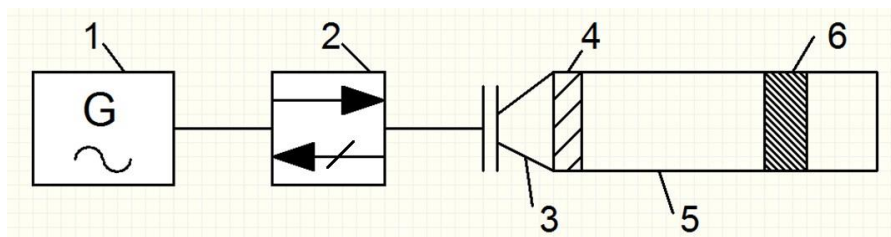


Рисунок 6 – Ведение СВЧ энергии в трубопровод:

1 – СВЧ генератор; 2 – ферритовый вентиль; 3 – трансформатор типа волны; 4 – окно ввода СВЧ энергии; 5 – трубопровод; 6 – гидратная пробка.

### **3 СВЧ метод контроля состояния трубопроводов**

Существующие способы проверки и контроля состояния трубопроводов требуют значительных затрат времени и материальных средств и не позволяют создать недорогую, гибкую и мобильную систему мониторинга состояний трубопроводов.

В настоящее время наряду с такими методами НК как радиационный, ультразвуковой, акустический, имеет место применение СВЧ метода НК. Данный метод основан на регистрации изменений параметров электромагнитных волн радиодиапазона, взаимодействующих с объектом контроля. Полезной информацией являются параметры прошедшей или отраженной от объекта СВЧ волны.

При реализации данного метода трубопровод рассматривается как круглый волновод. Поэтому к трубопроводу можно применить теорию волноводов и методы их исследования.

Трубопровод может быть исследован с помощью импульсного или непрерывного излучения с целью поиска внутренних неоднородностей, которыми являются внутренние дефекты, сквозные дефекты, участки коррозии, стыки труб, инородные объекты.

Для решения задачи обнаружения инородных объектов в трубопроводах перспективным является метод радиоимпульсной рефлектометрии. Данный метод позволяет по времени задержки СВЧ импульса и скорости его распространения определить место положения неоднородности в трубе.

Благодаря использованию импульсов малой длительности (наносекундные, пикосекундные) с частотой заполнения до десятков ГГц, можно добиться высокой разрешающей способности, что, в свою очередь, повышает точность и качество проводимой диагностики.

При постоянном внутреннем сечении трубопровода-волновода его характеристическое сопротивление постоянно и сигнал распространяется без отражений. При изменении характеристического сопротивления, вызванного



изменениями сечения трубопровода (участки коррозии, механические повреждения, сварные швы, внутренние микротрещины, инородные объекты) появляется отраженный сигнал, который может быть зарегистрирован приемником.

### **3.1 Оптимизация выбора параметров зондирующих СВЧ сигналов**

Основным параметром, определяющим возможность использования СВЧ излучения для контроля трубопроводов, является затухание сигнала в трубопроводе.

Линией передачи СВЧ сигналов при контроле трубопроводов радиоволновым методом является сама нефтегазовая труба. В реальных условиях ось трубы искривлена, граница внутреннего сечения не идеальная окружность и меняется вдоль трубы, стенка трубы не представляет регулярной поверхности и покрыта нефтяной пленкой переменной толщины, труба может быть заполнена жидкостью, нефтью с водой. Однако, прежде чем учитывать все эти факторы, нужно оценить потери для «идеального случая»: полого круглого прямолинейного волновода, изготовленного из соответствующего материала. Это позволит дать ответ на вопрос: возможно ли с помощью существующих СВЧ генераторов получить необходимый уровень мощности на выходе прямой стальной трубы соответствующего диаметра и длины в нужном диапазоне частот. Влияние остальных факторов проще и надежнее оценить экспериментально.

Были проведены расчёты, позволившие оптимизировать выбор типа волны и рабочих частот и оценить затухание ЭМВ в трубопроводе.

Существует возможность передача энергии в круглом волноводе путем возбуждения волны  $H_{01}$ . Величина погонного затухания волны  $H_{01}$  уменьшается с увеличением частоты (единственная такая волна из всех возможных типов волн в круглом волноводе). Это делает привлекательным использование волны

$H_{01}$  в круглом волноводе для передачи энергии в волноводах большой длины в высокочастотной части СВЧ диапазона.

Сложность работы на этой волне обусловлена тем, что она не является низшей, поэтому на любых неоднородностях в тракте она может трансформироваться в низшие типы волн, например в волну  $H_{11}$ .

В качестве рабочего нами выбран тип  $H_{11}$  в круглом волноводе [7].

### 3.1.1 Расчет затухания ЭМВ в трубопроводе

Как отмечалось выше, затухание СВЧ сигнала является одним из основных параметров, определяющим потенциальные возможности использования радиоволнового метода для НК трубопроводов.

Величина потерь непосредственно определяет эффективность передачи энергии по передающей линии СВЧ, в нашем случае по трубопроводу.

Для оценки затухания ЭМВ необходимо учесть все виды потерь энергии, присутствующие в процессе обнаружения инородных объектов в трубопроводе.

Можно выделить два основных фактора, которые несут ответственность за потери СВЧ энергии в трубопроводе:

1. конечная проводимость стенок трубопровода (часть токов в стенках волновода преобразуется в тепло (омические потери));
2. потери в рабочей среде, заполняющей трубопровод (диэлектрические потери).

Для расчета затухания ЭМВ типа  $H_{11}$  в трубопроводе воспользуемся формулой

$$(\alpha)_{H_{11}} = \frac{\sqrt{\frac{\omega \cdot \mu_{ст} \cdot \varepsilon \cdot \varepsilon_0}{2 \cdot \sigma_{ст} \cdot \mu}}}{R \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right)^2}} \cdot \left[ 0.42 + \left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right)^2 \right], \quad 1/м$$

где  $\omega$  – частота;

$\mu_{\text{ст}}$  – магнитная проницаемость материала стенки трубопровода;

$\varepsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость среды, заполняющей полость трубопровода;

$\varepsilon_0$  – диэлектрическая постоянная,  $\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м;

$\sigma_{\text{ст}}$  – удельная объемная проводимость материала стенок, Ом<sup>-1</sup>·м<sup>-1</sup>;

$\mu$  – относительная магнитная проницаемость среды, заполняющей полость трубопровода;

$\lambda$  – рабочая длина волны в трубопроводе;  $\lambda_{\text{кр}}$  – критическая длина волны,  $\lambda_{\text{кр}} = 3.41 \cdot R$ ;

$R$  – внутренний радиус трубопровода.

Рассчитаем потери в насосно-компрессорной трубе с внутренним диаметром 78 мм и в шлейфовой трубе диаметром 273 мм в случае распространения волны Н<sub>11</sub>. Расчет произведем для трубопроводов, выполненных из меди и стали марки Ст20 с воздушным заполнением, и для рабочей частоты 10 ГГц.

### ***Расчет потерь в трубопроводе из меди***

Так как  $f = 10$  ГГц, тогда  $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot 3.14 \cdot 10 \cdot 10^9 = 62.8$  ГГц.

Рабочая длина волны в соответствии с представленной ниже формулой составляет 0.03 м.

$$\lambda = \frac{c}{f},$$

где  $c$  – скорость распространения радиоволн в свободном пространстве,  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с.

А критическая длина волны составляет  $\lambda_{\text{кр}1} = 0.133$  м,  $\lambda_{\text{кр}2} = 0.465$  м.

И с учетом табличных данных  $\mu_{\text{ст}} \cong 1$ ,  $\varepsilon = 1$ ,  $\mu = 1$ ,  $\sigma_{\text{ст}} = 5.8 \cdot 10^7$  Ом<sup>-1</sup>·м<sup>-1</sup> получаем затухание для трубопровода с внутренним диаметром

78 мм

$$(\alpha 1)H_{11} = \frac{\sqrt{\frac{62.8 \cdot 10^9 \cdot 8.85 \cdot 10^{-12}}{2 \cdot 5.8 \cdot 10^7}}}{0.039 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{0.03}{0.133}\right)^2}} \cdot \left[0.42 + \left(\frac{0.03}{0.133}\right)^2\right] \cdot \frac{1}{\text{м}}$$
$$(\alpha 1)H_{11} = 0.00078 \frac{1}{\text{м}} = 0.0068 \frac{\text{дБ}}{\text{м}}$$

Затухание для трубопровода с внутренним диаметром 273 мм составляет

$$(\alpha 2)H_{11} = \frac{\sqrt{\frac{62.8 \cdot 10^9 \cdot 8.85 \cdot 10^{-12}}{2 \cdot 5.8 \cdot 10^7}}}{0.1365 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{0.03}{0.465}\right)^2}} \cdot \left[0.42 + \left(\frac{0.03}{0.465}\right)^2\right] \cdot \frac{1}{\text{м}}$$
$$(\alpha 2)H_{11} = 0.00021 \frac{1}{\text{м}} = 0.0019 \frac{\text{дБ}}{\text{м}}$$

### ***Расчет потерь в трубопроводе из стали марки Ст20***

В данном случае магнитная проницаемость материала стенки составляет  $\mu_{\text{ст}} \cong 220$ , а удельная объемная проводимость равна  $\sigma_{\text{ст}} = 0.5 \cdot 10^7 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$ .

Следовательно, получаем затухание для трубопровода с внутренним диаметром 78 мм

$$(\alpha 1)H_{11} = \frac{\sqrt{\frac{62.8 \cdot 10^9 \cdot 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot 220}{2 \cdot 0.5 \cdot 10^7}}}{0.039 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{0.03}{0.133}\right)^2}} \cdot \left[0.42 + \left(\frac{0.03}{0.133}\right)^2\right] \cdot \frac{1}{\text{м}}$$
$$(\alpha 1)H_{11} = 0.0394 \frac{1}{\text{м}} = 0.3416 \frac{\text{дБ}}{\text{м}}$$

Затухание для трубопровода с внутренним диаметром 273 мм составляет

$$(\alpha_2)H_{11} = \frac{\sqrt{\frac{62.8 \cdot 10^9 \cdot 8.85 \cdot 10^{-12} \cdot 220}{2 \cdot 0.5 \cdot 10^7}}}{0.1365 \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{0.03}{0.465}\right)^2}} \cdot \left[0.42 + \left(\frac{0.03}{0.465}\right)^2\right] \cdot \frac{1}{\text{м}}$$

$$(\alpha_2)H_{11} = 0.0108 \frac{1}{\text{м}} = 0.0935 \frac{\text{дБ}}{\text{м}}$$

Полученные расчетные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициент затухания в стенках трубопровода

Материал стенки трубопровода	Внутренний диаметр, мм	Частота, ГГц	Длина волны, см	Коэффициент затухания, дБ/км
Медь	78	10	3	6.8
	273			1.9
Сталь марки Ст20	78			341.6
	273			93.5

Таким образом, можно сделать вывод, что потери в трубопроводе из стали марки Ст20 значительно превышают потери в трубопроводе из меди, а также наблюдается обратная зависимость между коэффициентом затухания и внутренним радиусом трубопровода.

Что касается нефтепровода, то для них к потерям энергии, обусловленными конечной проводимостью стенок, добавятся потери в нефти и в нефтяных отложения на стенках трубопровода.

### 3.2 Метод радиоимпульсной рефлектометрии

Суть метода радиоимпульсной рефлектометрии состоит в зондировании линии передачи (трубопровода-волновода) СВЧ импульсом наносекундной длительности с последующей фиксацией времени прохода отраженного от неоднородности импульса к входному концу волновода.

Особенностью является то, что с его помощью могут быть обнаружены гидратные, ледяные, парафиновые отложения и другие инородные объекты, например, скребки для механической очистки труб, поршни, снарядыдефектоскопы и т.д.

Отражение СВЧ импульса от инородного объекта происходит за счет разницы электрофизических параметров ( $\epsilon$ ,  $\text{tg}\delta$ ) рабочей среды трубопровода и объекта.

Для демонстрации СВЧ метода был разработан лабораторный макет, структурная схема которого приведена на рис.7.

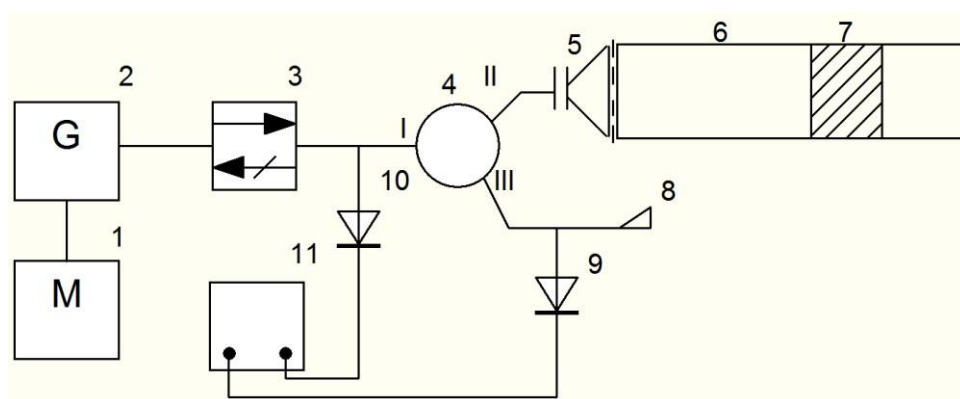


Рисунок 7 – Структурная схема лабораторного макета:

1 – модулятор импульсов; 2 – СВЧ генератор; 3 – ферритовый вентиль;  
4 – циркулятор; 5 – трансформатор типа волны; 6 – труба; 7 – инородный объект; 8 – согласованная нагрузка; 9, 10 – детектор; 11 – осциллограф.

Сформированный генератором 2 импульс наносекундной длительности через ферритовый вентиль 3 поступает в плечо I циркулятора 4 и далее через плечо II циркулятора, трансформатор типа волны 5 поступает в контролируемую трубу 6. С детектора 10 огибающая падающего импульса подается на запуск развертки устройства обработки и отображения информации (осциллографа) 11. Отраженный от инородного объекта 7 импульс возвращается в плечо II циркулятора, через плечо III проходит в согласованную нагрузку 8 и поглощается в ней. С детектора 9 огибающая отраженного импульса подается на устройство 11, формируя временную метку, отстоящую от начала развертки на время  $t$ . Это время равно пробегу СВЧ импульса до инородного объекта и обратно. Зная скорость распространения СВЧ импульса

по трубе, можно определить расстояние от точки ввода СВЧ импульса в трубу до объекта по простой формуле

$$L_x = \frac{t \cdot v}{2},$$

где  $v$  – скорость распространения СВЧ импульса по трубе.

Скорость распространения СВЧ импульса в трубе рассчитывается по формуле

$$v = c \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{\lambda_{кр}}\right)^2},$$

где

$\lambda$  – рабочая длина волны, м;

$c$  – скорость распространения ЭМВ в свободном пространстве, м/с;  $\lambda_{кр}$  – критическая длина волны, м.

Внешний вид лабораторного макета представлен на рисунке 8.



Рисунок 8 – Внешний вид лабораторного макета  
изменение состояния контролируемого участка трубопровода.

### 3.2.1 Выбор и обоснование элементной базы лабораторного макета

### ***Генераторы наносекундных СВЧ импульсов***

Наиболее востребованными, на настоящее время, являются генераторы, работающие в импульсном режиме с использованием эффекта Ганна на основе соединения *GaAs*.

Основными преимуществами выпускаемых промышленностью СВЧ генераторов на основе диода Ганна являются их малые габариты и низкое энергопотребление.

В непрерывном режиме в трехсантиметровом диапазоне длин волн реальные генераторы на диодах Ганна имеют КПД порядка 2 – 4% и могут обеспечить выходную мощность от единиц мВт до единиц Вт. Но при переходе в импульсный режим КПД увеличивается в 2 – 3 раза и может достигать 60 Вт в диапазоне частот 8 ... 96 ГГц.

В тоже время наносекундная длительность импульса или импульсов сформированных с помощью таких генераторов позволяет повысить разрешающую способность радиоволнового метода контроля.

В макете используется СВЧ генератор на диоде Ганна типа *3A703B*, предназначенный для применения в генераторах сантиметрового диапазона длин волн.

Минимальная непрерывная выходная мощность на одной из частот диапазона 8.24 ... 12.5 ГГц при  $U = 8.5 \text{ В}$ , не менее 20 мВт [8].

### ***Модулятор***

В лабораторном макете в качестве модулятора импульсов используется *TR-0306*. Длительность фронта и среза – 0.25 нс. Частота повторения 500 Гц.

### ***Ферритовый вентиль***

Ферритовый вентиль *3BBC-100Г* – это устройство, не создающее существенного затухания для волны,двигающейся по линии передачи в одном



(прямом) направлении, но вносящее большое затухание для другого (обратного) направления движения энергии.

### ***Циркулятор волноводный***

Циркулятор 3ЦВ-107 – многополюсник, в котором движение потока энергии между соседними плечами происходит в строго определённом направлении.

### ***Детектирование сигнала***

Диод Д604 кремниевый точечный детекторный (2 шт.).

Предназначен для детектирования сигналов в диапазоне длин волн 2,7..4 см. Чувствительность по току: не менее 2.5 А/Вт.

### ***Измерение временных интервалов***

Осциллограф универсальный С1-108 предназначен для исследования формы непрерывных и импульсных сигналов, в том числе редко повторяющихся и однократных, в диапазоне напряжений от 20 мВ до 25 В и в диапазоне длительностей от 7 нс до 100 мс путем визуального наблюдения и фотографирования.

Применение электронной шкалы, измерительных меток и вычислителя с выходом на цифровое табло позволяет измерять амплитудные и временные параметры сигналов, временные интервалы между импульсами с максимальной для осциллографов точностью. Отсчет результатов измерений возможен как по шкале экрана ЭЛТ, так и по электронной шкале или по цифровому индикатору. Обеспечивается вычисление процентных отношений двух величин, преобразование время-частота с цифровой индикацией результатов на табло.

### ***Имитатор трубопровода***

В качестве имитатора трубопровода в макете используется труба из меди внутренним диаметром 78 мм и длиной 1.5 м.

### 3.2.2 Измерение параметров согласования волноводного тракта лабораторного макета

В теории обычных длинных линий под режимом согласования понимают случай, когда сопротивление нагрузки, включенное на конце линии, в точности равно характеристическому сопротивлению данной линии, т.е.  $Z_H = Z_c$ . При этом отраженная волна отсутствует. Коэффициент  $\Gamma$  оказывается равным нулю; коэффициент стоячей волны равен единице. Такое понятие согласования полностью используется и при работе с любыми передающими линиями сверхвысоких частот. Мощность, поступающая в нагрузку от согласованного генератора, в режиме согласования имеет наибольшую величину.

Для определения параметров согласования волноводного тракта макета радиоволнового дефектоскопа были проведены измерения КСВН с помощью панорамного измерителя Р2-61. В состав прибора входят ГКЧ, индикаторов КСВН и ослабления, комплект измерительных СВЧ узлов. Диапазон рабочих частот измерителя от  $8 \cdot 24$  до  $12 \cdot 05$  ГГц, сечение волноводного тракта  $23 \times 10$  мм. Пределы измерения КСВН:  $1 \cdot 05 - 5$  [9].

Для измерения КСВН волноводного тракта макета собрана схема, изображенная на рис. 9.

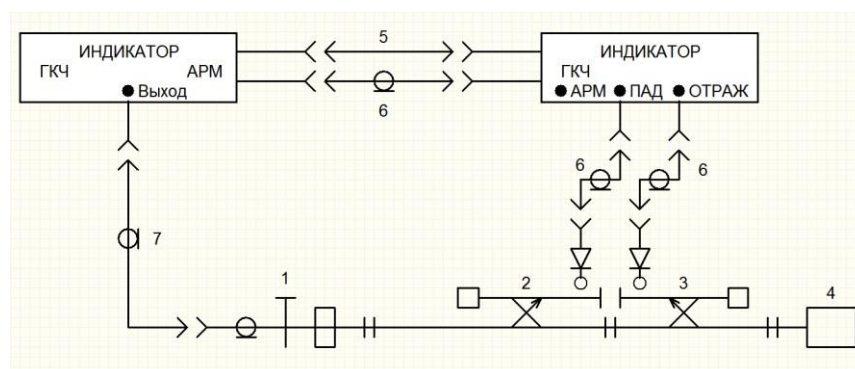


Рисунок 9 – Электрическая структурная схема измерения КСВН

На схеме приведены:

1. переход коаксиально-волноводный;

2. детектор направленный «ПАДАЮЩАЯ»;
3. детектор направленный «ОТРАЖЕННАЯ»;
4. измеряемый объект (волноводный тракт);
5. кабель;
6. кабель соединительный К-9;
7. кабель соединительный ВЧ.



Рисунок 10 – Схема измерения КСВН волноводного тракта макета



Рисунок 11 – Осциллограмма частотной зависимости КСВН

Частотная зависимость КСВН приведена на рисунке 12.

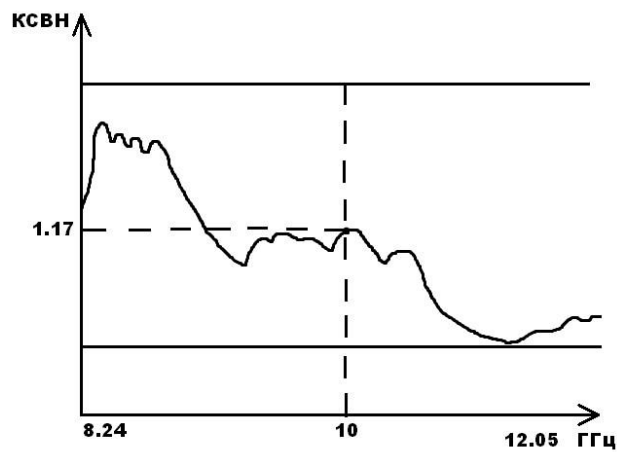


Рисунок 12 – Зависимость КСВН от частоты  
 Был определен  $\text{КСВН} = \rho = 1.17$  на частоте  $f = 10$  ГГц.

Рассчитали модуль коэффициента отражения по формуле

$$|\Gamma| = \frac{\rho - 1}{\rho + 1} = \frac{1.17 - 1}{1.17 + 1} = 0.08$$

Применив формулу  $P_{\text{отр}} = P_{\text{пад}} \cdot |\Gamma|^2$ , определили отраженную мощность

$$P_{\text{отр}} = 1 \cdot 0.08^2 \cdot 100\% = 0.64\%$$

Результаты проведенных расчетов говорят о достаточно хорошем согласовании волноводного тракта лабораторного макета.

## **4 Разработка имитационной модели в National Instruments LabVIEW**

Использование в рассматриваемом методе обнаружения инородных объектов в трубопроводах времени в качестве информативного параметра, требует разработки программного обеспечения для непосредственного измерения ВИ и передачи полученных данных на ПК оператора.

Для разработки имитационной модели была выбрана продукция компании National Instruments LabVIEW — это среда разработки и платформа для выполнения программ, созданных на графическом языке программирования «G». LabVIEW используется в системах сбора и обработки данных, а также для управления техническими объектами и технологическими процессами. Идеологически LabVIEW очень близка к SCADA-системам, но в отличие от них в большей степени ориентирована на решение задач не столько в области АСУ ТП, сколько в области АСНИ.

Графический язык программирования «G», используемый в LabVIEW, основан на архитектуре потоков данных. Последовательность выполнения операторов в таких языках определяется не порядком их следования (как в императивных языках программирования), а наличием данных на входах этих операторов. Операторы, не связанные по данным, выполняются параллельно в произвольном порядке.

Данная среда была выбрана ввиду того, что у меня, как разработчика уже имелся опыт разработки приложений в ней.

### **4.1 Разработка имитационной модели лабораторной установки**

Был создан проект модели системы, состоящей из подпрограммы верхнего уровня «MAIN.VI», 11 вспомогательных подпрограмм и 7 разработанных TypeDEFs – элементов группы

images	31.03.2018 16:19	Папка с файлами	
TypeDefs	31.03.2018 16:23	Папка с файлами	
Bool_value_Delay	25.03.2018 14:59	LabVIEW Instrume...	16 КБ
Bool_value_Delay_2	25.03.2018 15:00	LabVIEW Instrume...	16 КБ
Calculate_Bound	31.03.2018 19:43	LabVIEW Instrume...	20 КБ
Clear_graph	26.03.2018 21:54	LabVIEW Instrume...	18 КБ
Disable_play	31.03.2018 17:25	LabVIEW Instrume...	15 КБ
Enable_play	31.03.2018 17:27	LabVIEW Instrume...	14 КБ
Enqueue	01.04.2018 8:00	LabVIEW Instrume...	18 КБ
Generate_waveline	26.03.2018 21:09	LabVIEW Instrume...	17 КБ
MAIN	01.04.2018 7:41	LabVIEW Instrume...	151 КБ
Pure_Delay	26.03.2018 21:10	LabVIEW Instrume...	14 КБ
Queue_in	26.03.2018 20:44	LabVIEW Instrume...	14 КБ
WaveLine_ris	26.03.2018 21:53	LabVIEW Instrume...	26 КБ

Рис. 13 – Элементы имитационной модели

Интерфейс программы верхнего уровня MAIN.VI, представленный ниже состоит из следующих групп объектов системы.

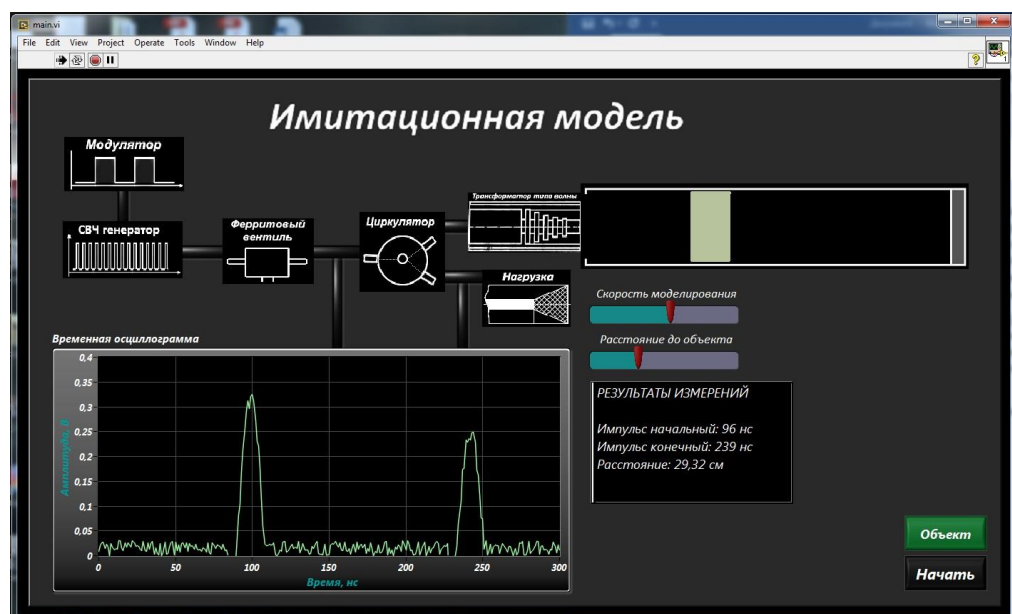


Рис. 14 – Интерфейс программы

**Группа 1.** Элементы этой группы представляют собой нарисованные объекты типа Boolean. Имеют 2 состояния: False (черный цвет) – когда объект не активен, True (зеленый цвет) – когда объект активен. Состоит из КОМПОНЕНТОВ:

1. Модулятор
2. СВЧ-генератор
3. Ферритовый вентиль
4. Циркулятор

- 5. Трансформатор типа волны
- 6. Нагрузка
- 7. Имитаторы соединений между ними

**Группа 2.** В программе присутствуют 2 объекта типа Graph:

*Graph 1.* Отображение волн, падающей и отраженной на объект, а также прорисовка самого объекта.

*Graph 2.* Отображение на осциллограмме фиксируемых детекторами импульсов.

**Группа 3.** Программные компоненты.

Кнопка «Начать» - элемент типа Boolean. При нажатии на нее производится имитация эксперимента. Чтобы запустить заново, необходимо дождаться завершения текущего эксперимента.

Кнопка «Объект» - элемент типа Boolean. Ее активное состояние говорит о том, что в трубе будет присутствовать объект, который прорисовывается на Graph 1. Также становится доступным для изменения расстояние до объекта.

Ползун «Скорость моделирования». Регулирует скорость прогона эксперимента (от 100 мс до 3с). В программе представляет собой время, которое один из объектов *группы 1* будет в активном состоянии.

Ползун «Расстояние до объекта». Регулирует положение объекта в трубе. Активен только при нажатии кнопки «Объект»

Текстовый индикатор. Отображает результаты эксперимента: время фиксации временных импульсов и рассчитанное расстояние до объекта.

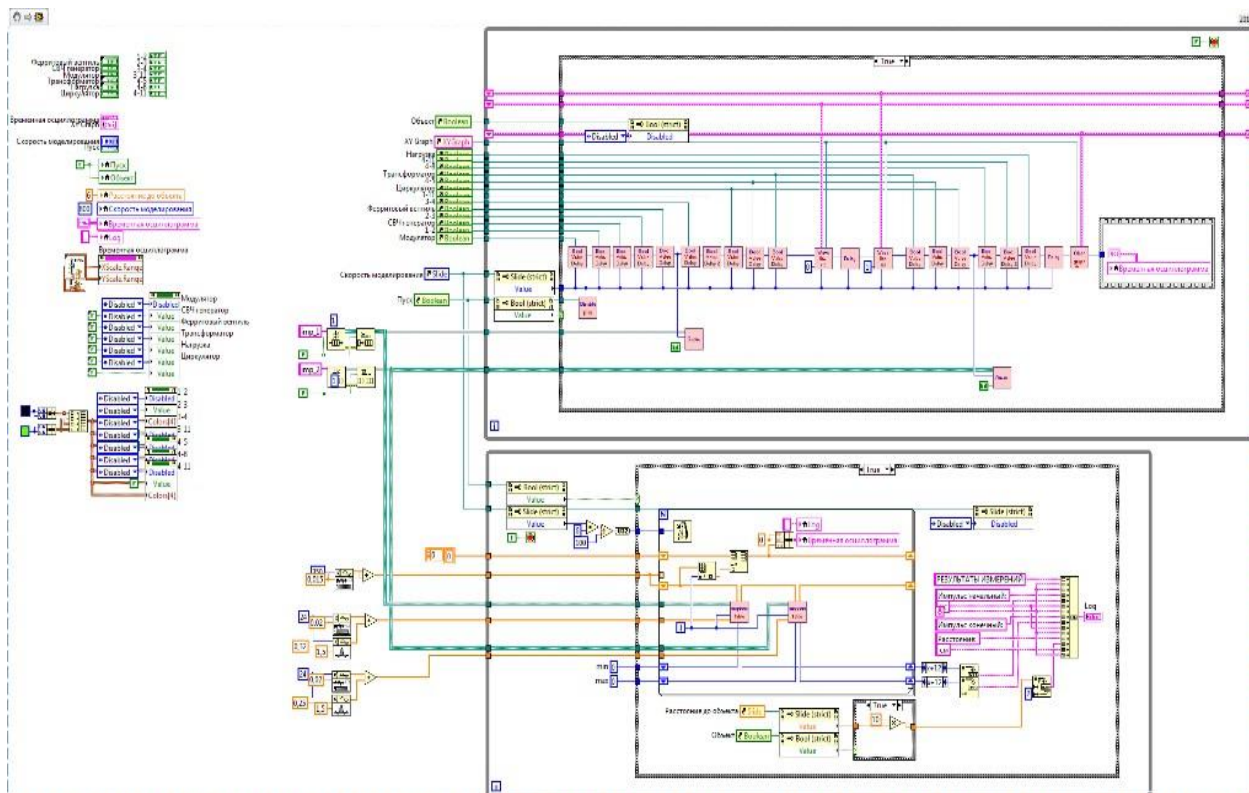


Рис. 15 – Код верхнего уровня программы

Можно выделить следующие блоки элементов в коде программы: 1.

Задание начальных значений всем элементам системы

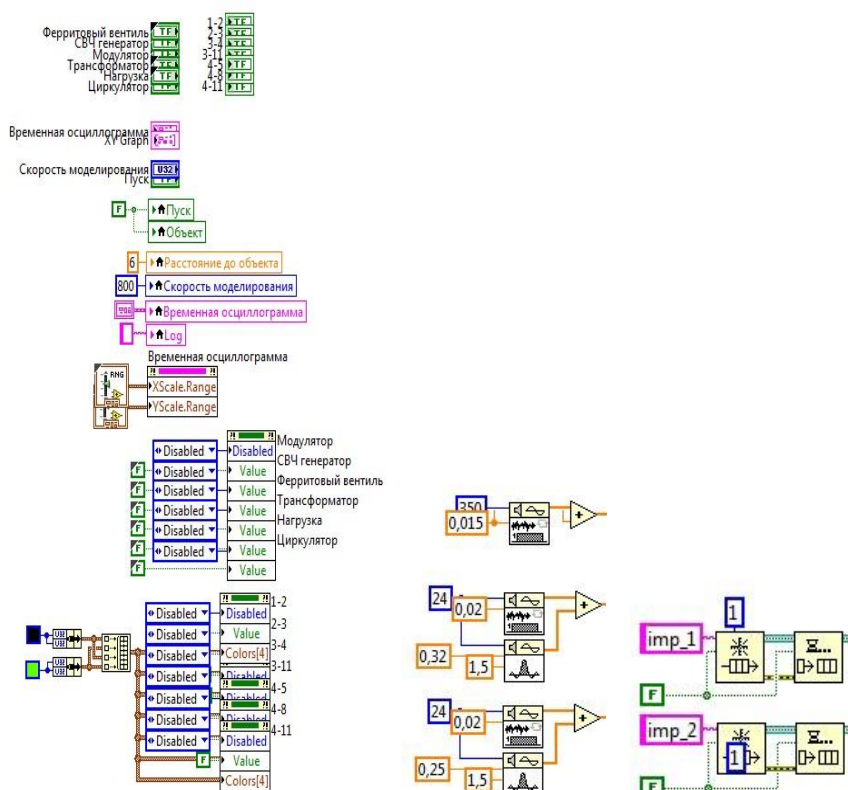


Рис. 16 – Код программы для задания начальных значений



2. Цикл модели, в котором происходит последовательное изменение состояний объектов *группы 1*, прорисовка данных на *Graph 1*, имитация детектирования импульса и отправка в цикл осциллографа. Также в нем рассчитывается расстояние до объекта в трубе, в соответствии с этим генерируется нужный пробег волны в трубе.

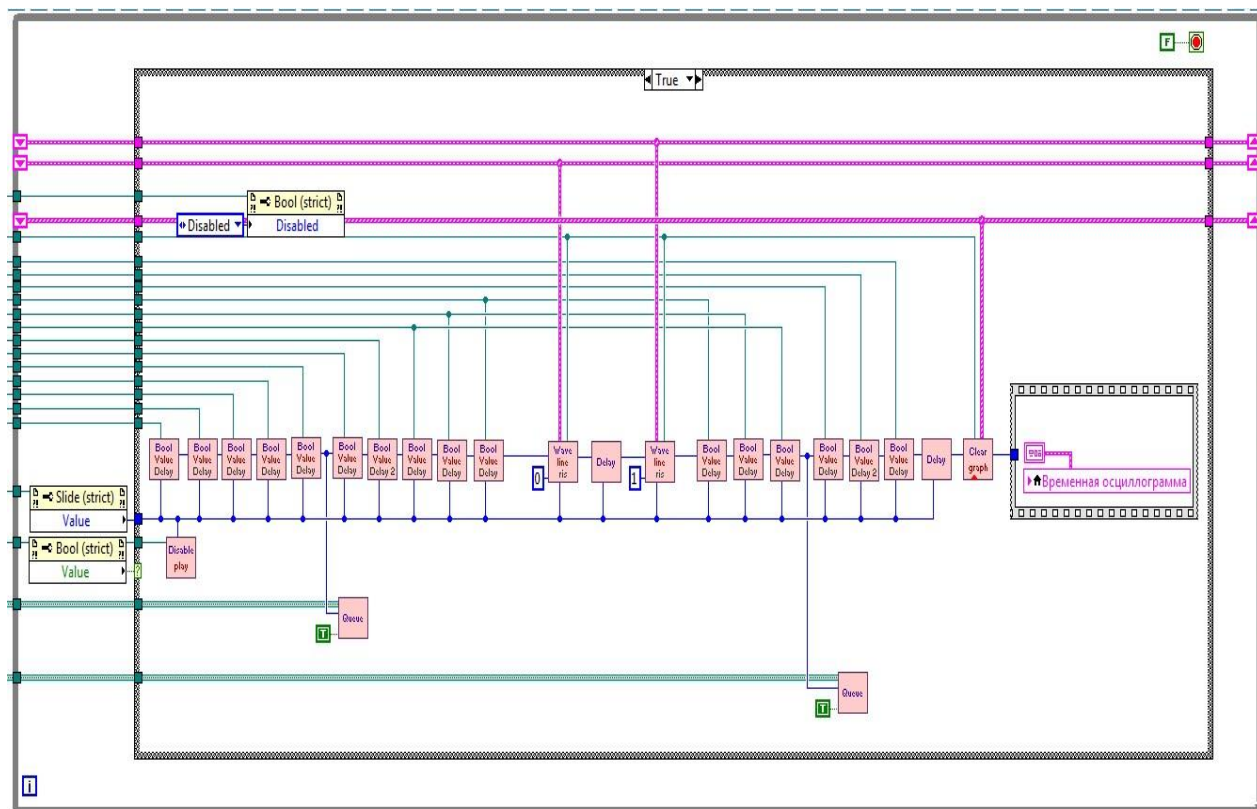


Рис. 17 – Код программы для имитации детектирования импульса и отправки в цикл осциллографа

3. Цикл осциллографа, в котором в обычном состоянии рисуются шумовой сигнал на уровне до 0.05В, а при команде из цикла модели, прорисовываются всплески, имитирующие детектирование СВЧ импульса. После завершения цикла производится поиск пиков на осциллограмме и запись результатов в текстовый индикатор.

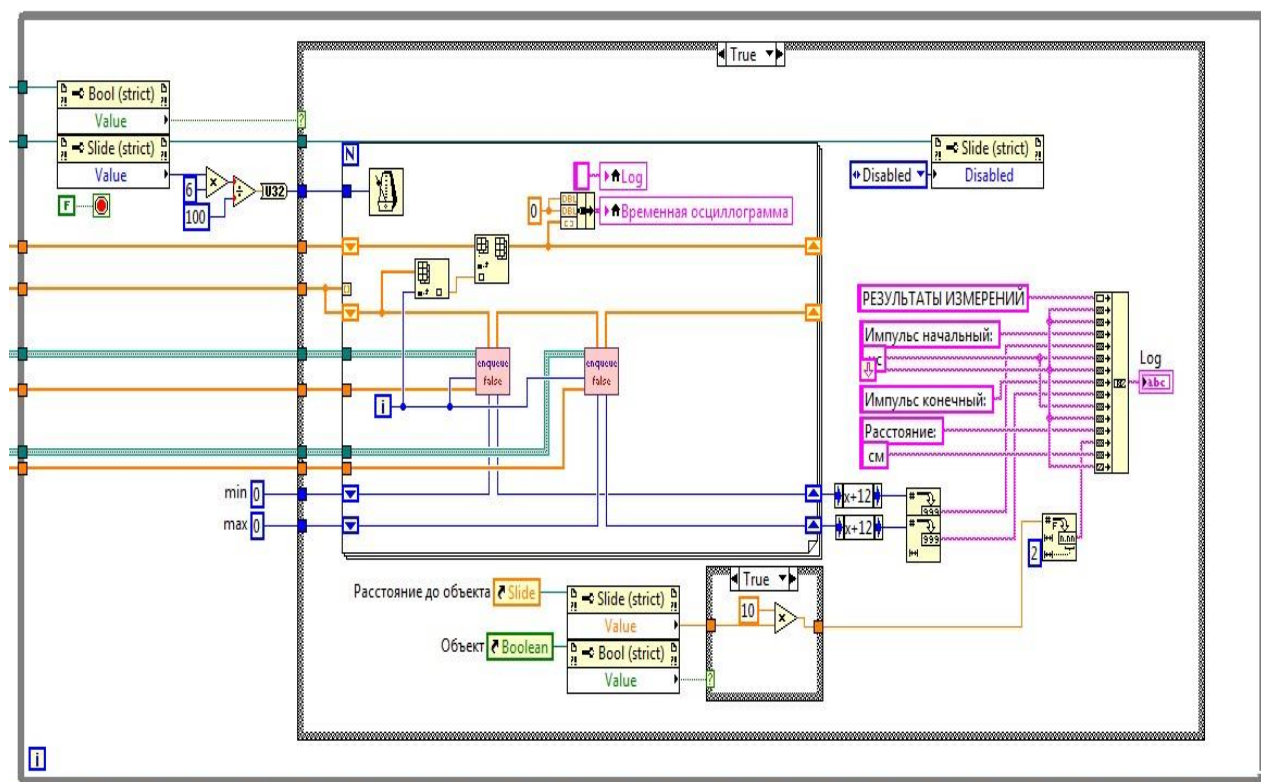


Рис. 18 – Код программы цикла осцилографа

Запуск программы производится при нажатии на стрелку, выделенную зеленым цветом, остановка-на красный круг.

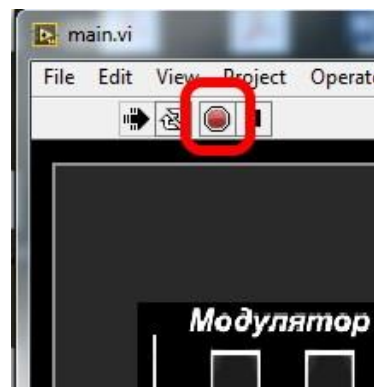
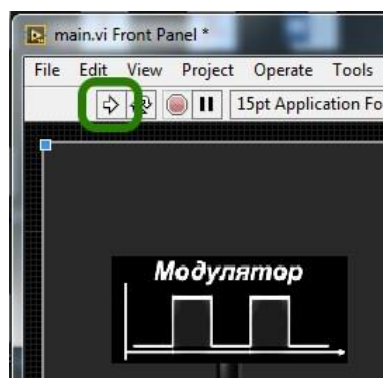


Рис. 19 – Внешний вид интерфейса для запуска и остановки программы

Опробовав готовую программу имитационной модели, можно сделать вывод о ее эффективности для подсчета интервалов временных импульсов и расчета расстояния до гидратного образования. Необходимо доработать ее для того, чтобы иметь четкую картину и понимать состояние газопопада на исследуемой местности.

## 4.2 Разработка основной программы для работы в полевых условиях.

После разработки и опробования имитационной модели, была поставлена задача по написанию программы для обнаружения гидратных образований в магистральных газопроводах. То есть пришлось доработать уже имеющуюся, так как невозможно было судить о состоянии трубопровода на наличие гидратных образований. Требовалось наглядно представить исследуемый участок для отслеживания результатов показаний в режиме реального времени.

### 4.2.1 Этапы написания программы.

1) Была представлена исследуемая карта местности, на которой отображено 12 участков трубопровода длиной 12.0 м каждый, а также указано место ввода СВЧ зондирующего и приемника отраженного СВЧ импульса для привязки начала отсчета.

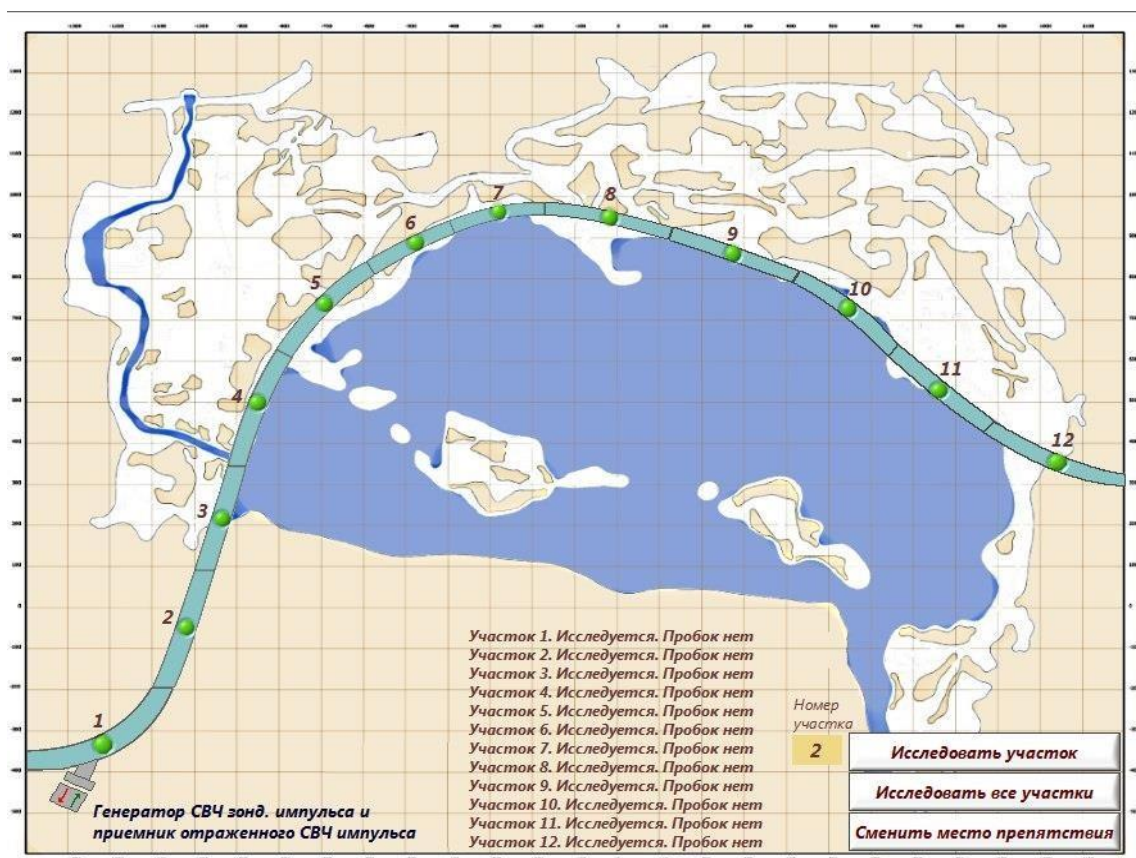




Рис. 20– Интерфейс программы

Этапы эволюции карты и прорисовки участков трубы. представлены в папке «images» в папке программы.

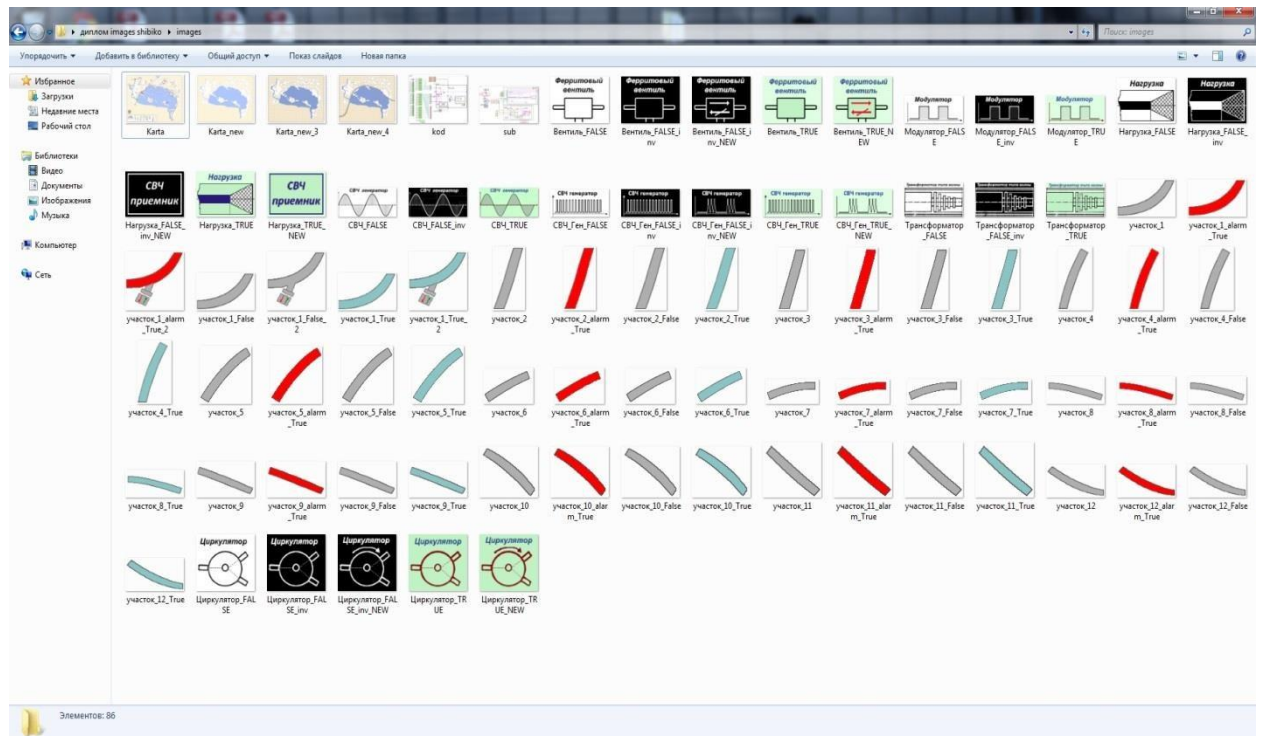


Рис. 21 – Папка «images» с графическими элементами

2) Далее было объединено 2 подпрограммы вместе: «Имитационная модель» и «Основная программа». Теперь это выглядит как на **рис. X**

Упорядочить	Открыть	Добавить в библиотеку	Общий доступ			
Имя	Дата изменения	Тип	Размер			
Избранное						
Загрузки						
Недавние места						
Рабочий стол						
Одорути - Ярлык						
Андрей Прохоров -						
FIRs - Ярлык						
Шибико Анатолий						
Библиотеки						
Видео						
Документы						
Изображения						
Музыка						
Компьютер						
SYS (C:)						
Локальный диск (D)						
Сеть						
images	19.05.2018 11:57	Папка с файлами				
TypeDEfs	19.05.2018 11:57	Папка с файлами				
Bool_reading	18.05.2018 10:45	LabVIEW Instrume...	22 КБ			
Bool_value_Delay	18.05.2018 10:45	LabVIEW Instrume...	16 КБ			
Bool_value_Delay_2	18.05.2018 10:45	LabVIEW Instrume...	16 КБ			
Calculate_Bound	18.05.2018 10:45	LabVIEW Instrume...	20 КБ			
Change_pos	18.05.2018 10:45	LabVIEW Instrume...	18 КБ			
Clear_graph	18.05.2018 10:45	LabVIEW Instrume...	18 КБ			
Disable_play	18.05.2018 10:45	LabVIEW Instrume...	15 КБ			
Enable_play	18.05.2018 10:45	LabVIEW Instrume...	14 КБ			
Enqueue	18.05.2018 10:45	LabVIEW Instrume...	18 КБ			
False_Disable_controls	18.05.2018 10:45	LabVIEW Instrume...	19 КБ			
False_True_booleans	18.05.2018 10:45	LabVIEW Instrume...	21 КБ			
Generate_waveline	18.05.2018 10:45	LabVIEW Instrume...	17 КБ			
Indicate all	18.05.2018 10:45	LabVIEW Instrume...	26 КБ			
Log_text	18.05.2018 10:45	LabVIEW Instrume...	19 КБ			
PR_main	18.05.2018 10:45	LabVIEW Instrume...	342 КБ			
Pure_Delay	18.05.2018 10:45	LabVIEW Instrume...	14 КБ			
Queue_in	18.05.2018 10:45	LabVIEW Instrume...	14 КБ			
sub_main	18.05.2018 10:45	LabVIEW Instrume...	162 КБ			
Visible_button	18.05.2018 10:45	LabVIEW Instrume...	16 КБ			
WaveLine_ris	18.05.2018 10:45	LabVIEW Instrume...	26 КБ			

Рис. 22 – Основная папка программы

3) Основная программа называется PR\_main. Запуск программы производится на нажатие «стрелки», остановка - на «красный круг».

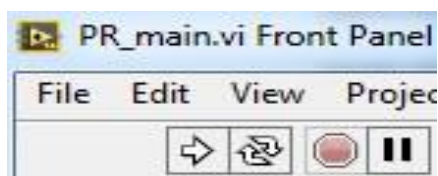


Рис. 23 – Кнопки запуска и остановки программы

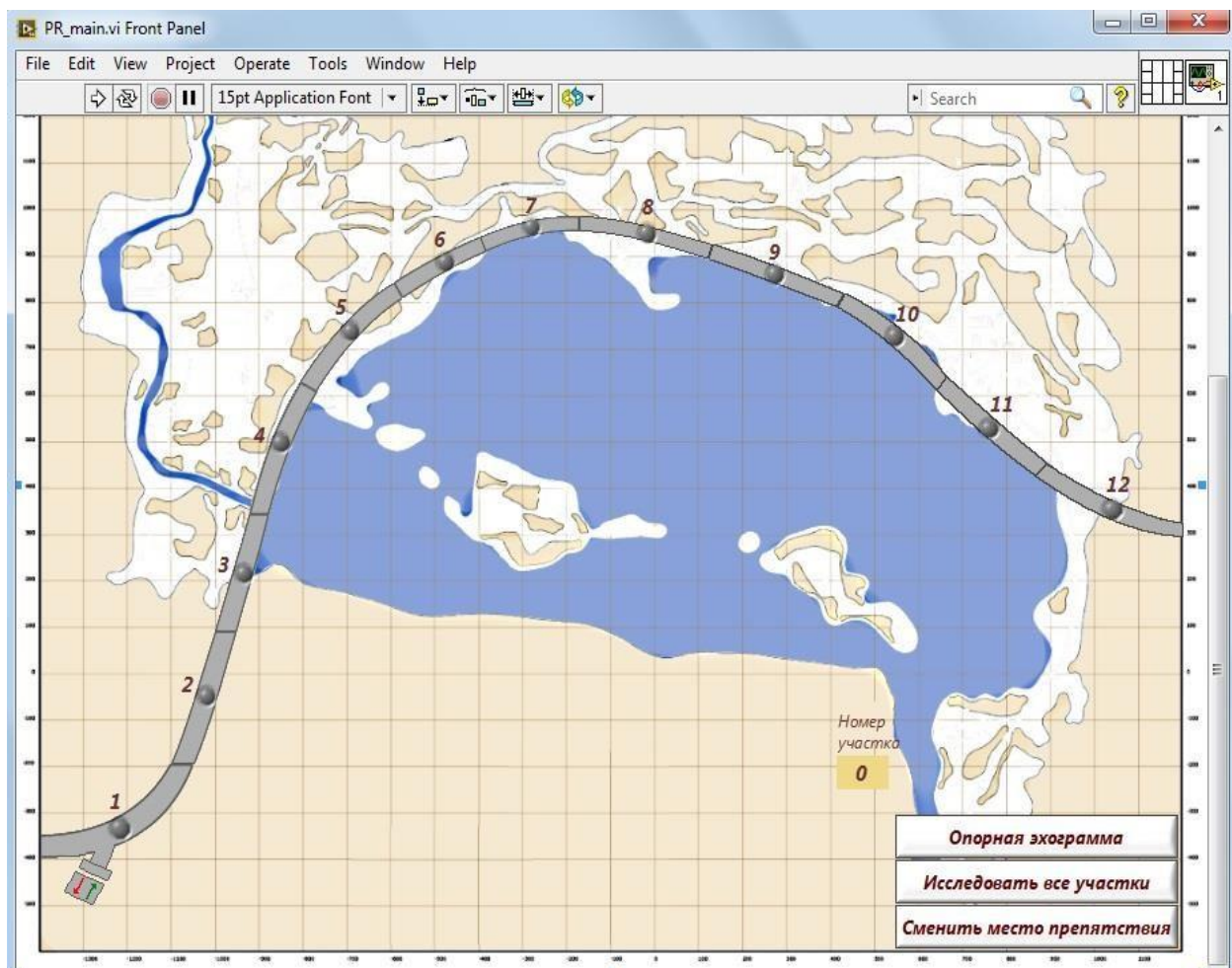


Рис. 24 – Интерфейс программы в незапущенном состоянии 4)

В программе каждая кнопка имеет свою функцию:

1. Двенадцать круглых серых кнопок в серединах труб – нажатие отвечает за функцию «исследуем / не исследуем участок трубы». При запуске программы все сбрасывается, поэтому до запуска - нажимать на них нет никакого смысла.





«Участок\_1» - «Участок\_12» - это участки трубы с зеленым цветом.  
 «Участок\_1\_A» - «Участок\_12\_A» - с красным. Если участок с гидратной пробкой, то красные участки накладываются поверх зеленых – за счет этого появляется мигание. Boolean\_1 - 12 – это серые кружки в середине труб.

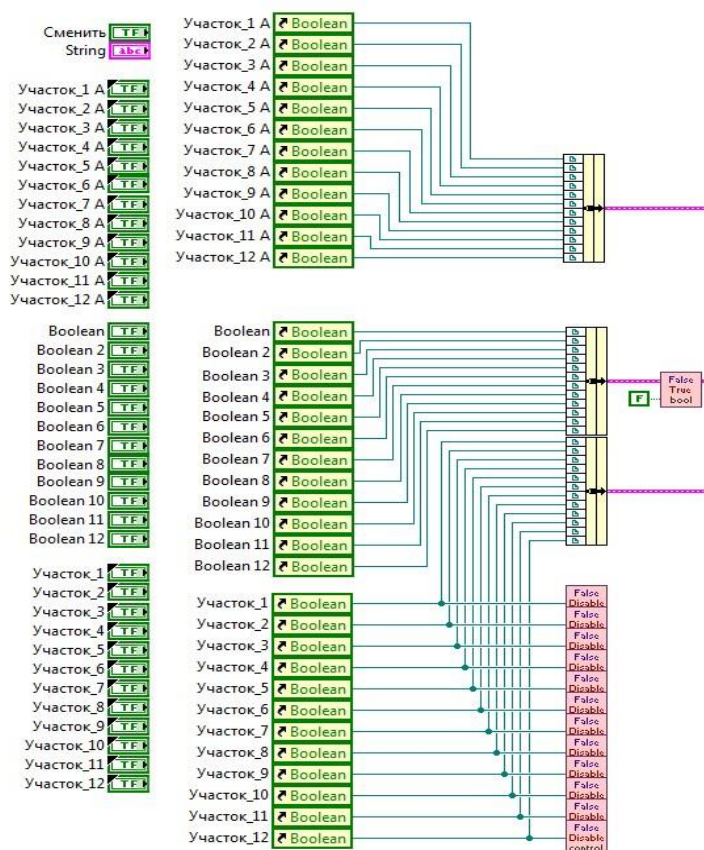


Рис. 26 – Элементы управления состоянием участков труб, отвечающих за цвет индикации

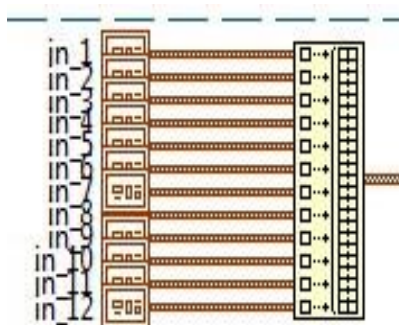


Рис. 27 – Элементы управления состоянием участков труб, отвечающих за обнаружение гидратной пробки

На рисунке 28 показан основной цикл программы.

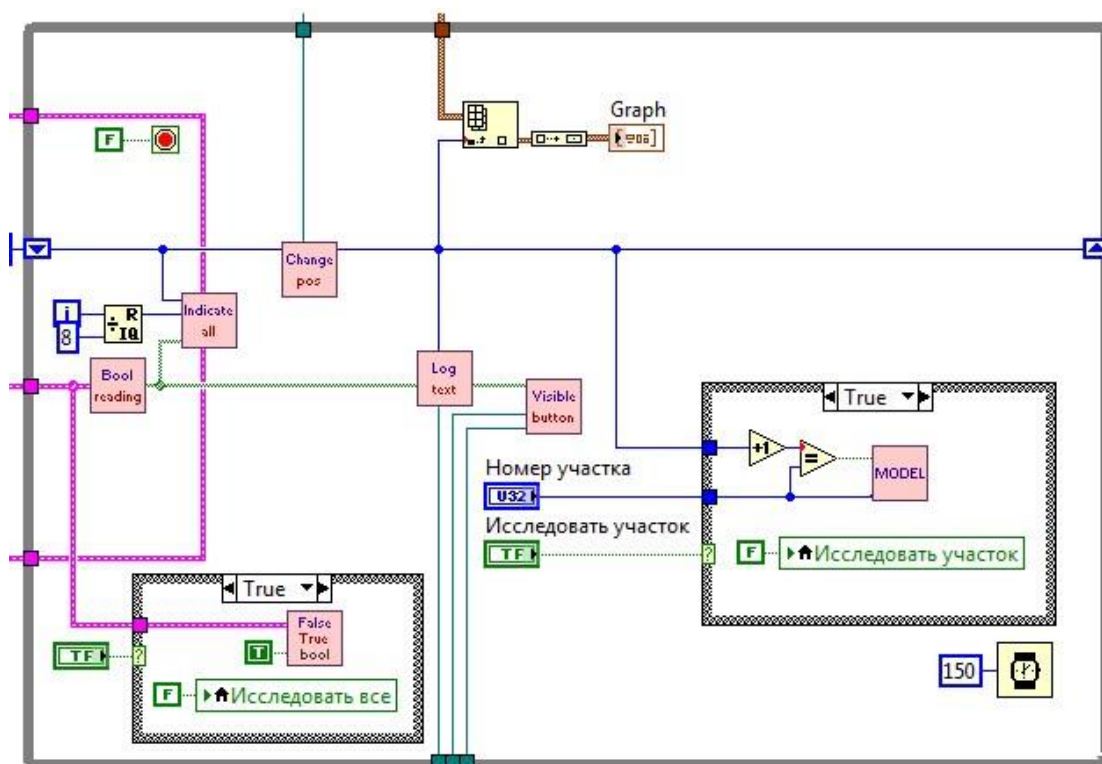


Рис. 28 – Основной цикл программы

Последовательность функций слева направо по проводам:

1. Считывание состояние кружков в подпрограмме «Bool reading».
2. Подпрограмма «Indicate all», отвечающая за цвет участков труб.
3. Подпрограмма «Log text», отвечающая за текст в середине карты – номер и состояние исследуемого участка.
4. Подпрограмма «Visible button» , отвечающая за видимость /невидимость кнопки «Исследовать участок».
5. Подпрограмма «Change pos», отвечающая за нажатие на кнопку «Сменить позицию».
6. Слева снизу условие нажатия на кнопку «Исследовать все».
7. Справа – вызов программы «Model» - программы имитационной модели лабораторной установки для обнаружения гидратного образования.

Также был изменен код программы имитационной модели лабораторной установки. Основные изменения выделены в красные рамки.



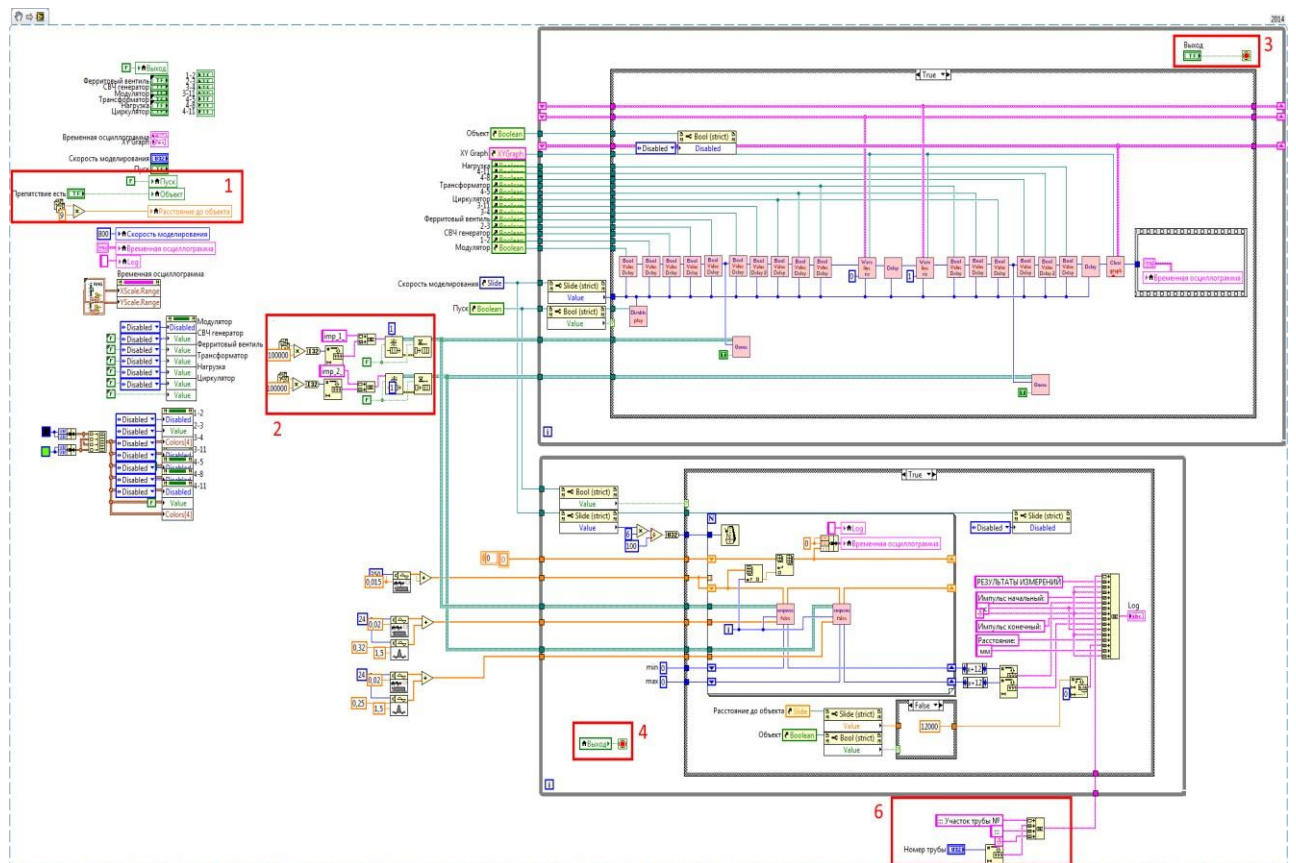


Рис. 29 – Измененный код имитационной модели лабораторной установки Основные изменения:

1. Добавлена связь с основной программой – нужно знать было ли найдено гидратное образование. Если нет, то программа работает в обычном режиме, если есть, то включается кнопка «Объект». Расстояние до гидратной пробки задается случайным образом.
2. Для вызова этой программы много раз, нужно выделить памяти в новую ячейку. Для этого я создаю область заново под новую очередь.
3. Раньше цикл был бесконечный, теперь выход из программы по кнопке «Выход»
4. Аналогично, выход из цикла с осциллограммой и расчетами по кнопке «Выход»
5. Прямоугольник 6. Это изменение в запись результатов. Теперь пишется какой участок исследуется и рассчитывается расстояние до дефекта.

#### 4.2.1 Последовательность действий оператора при работе за программой.

Программа рассчитана на оператора, который подключает макет с установки к трубопроводу и запускает СВЧ генератор, СВЧ импульс которого через специальное окно ввода вводится в трубопровод. Оператор анализирует состояние участков магистрального газопровода на экране монитора ПК.

Первоначально нужно измерить показания опорной эхограммы для дальнейшего анализа о наличии дефекта. Все это производится на этапе строительства магистрального газопровода.

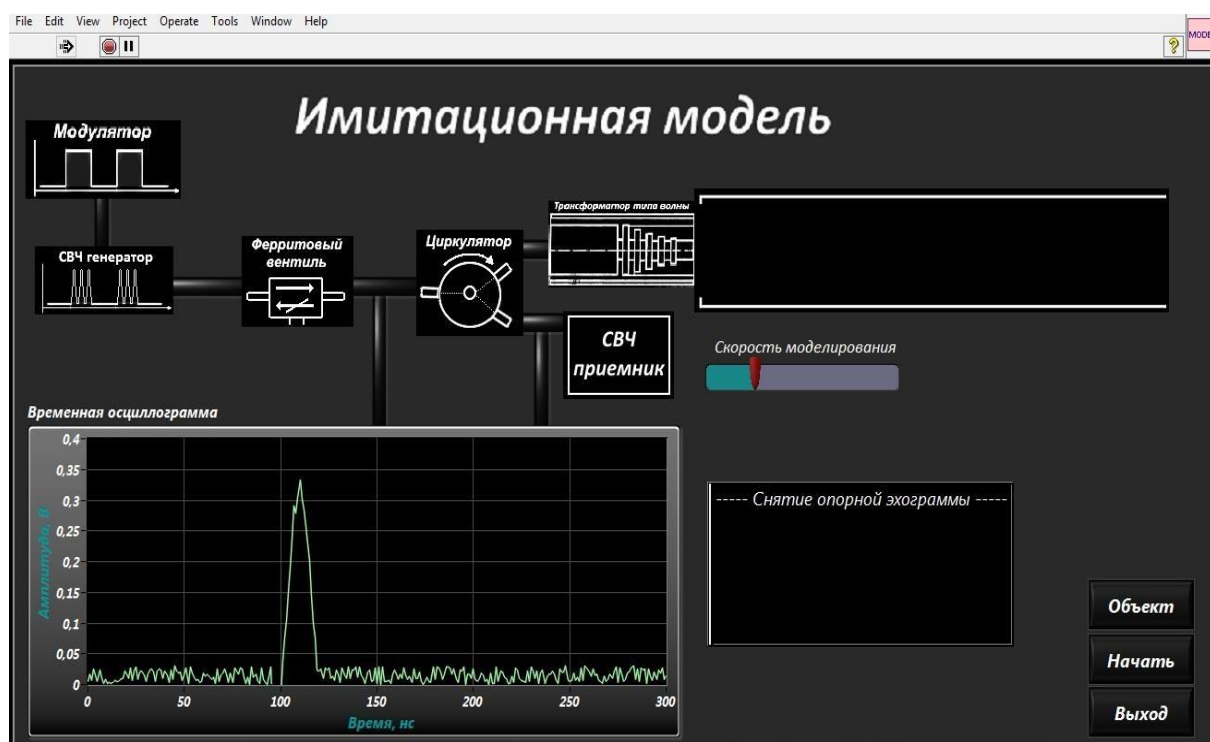


Рис. 30 – Снятие опорной эхограммы

В программе можно устанавливать количество участков для анализа данных. Можно проанализировать как отдельный участок длиной 12.0 метров, так и все 12 участков.



Рис. 31 – Интерфейс программы в запущенном состоянии

Исследуемые участки подсвечиваются зеленым цветом. При нахождении гидратного образования интерфейс программы позволяет осуществить индикацию отметки отраженного импульса от гидратной пробки на контролируемом участке трубы.

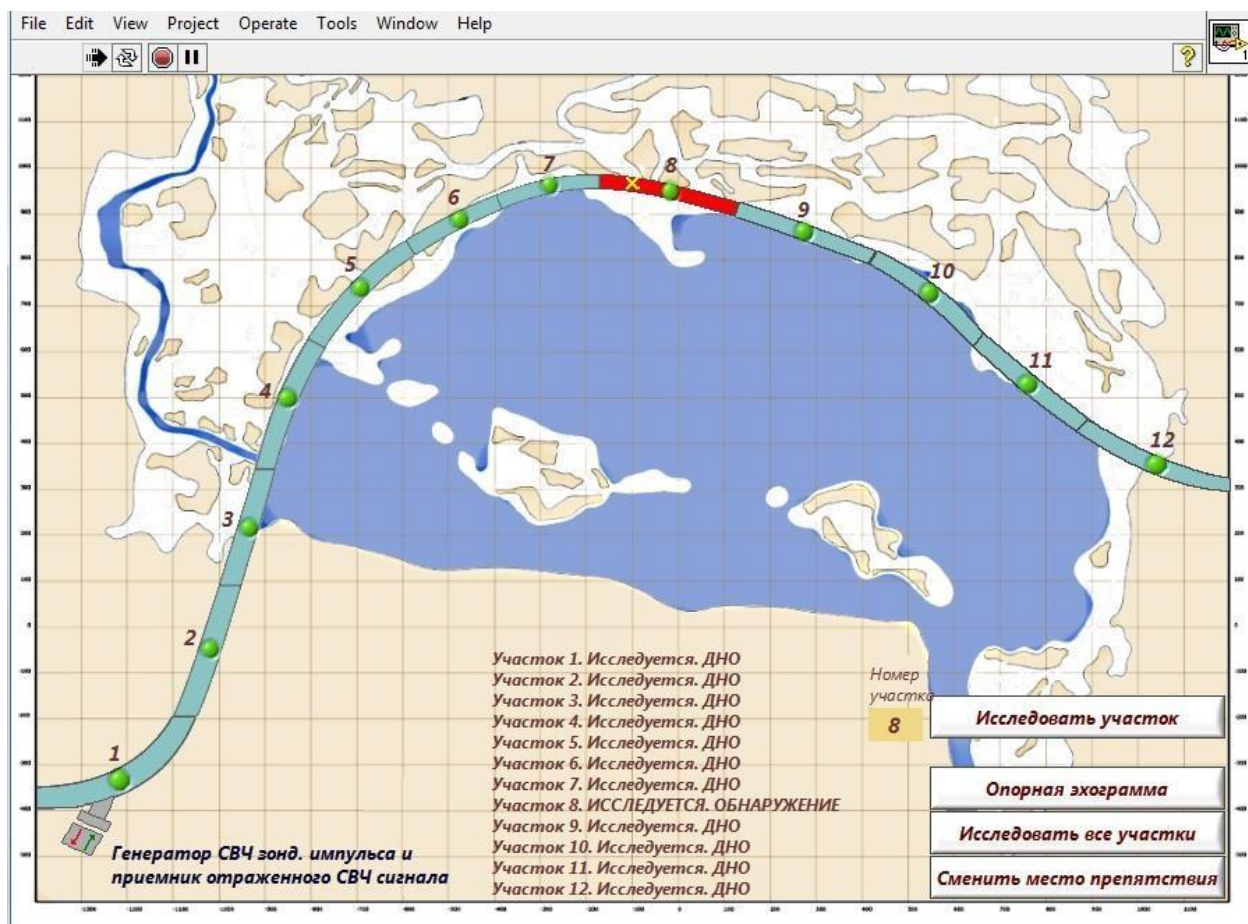


Рис. 32 – Индикация гидратного образования

Далее в интерфейсе программы мы вводим номер участка, на котором обнаружено гидратное образование и нажимаем на кнопку «Исследовать участок».

Высвечивается новое окно, в котором отображается информация о состоянии контролируемого участка газопровода.



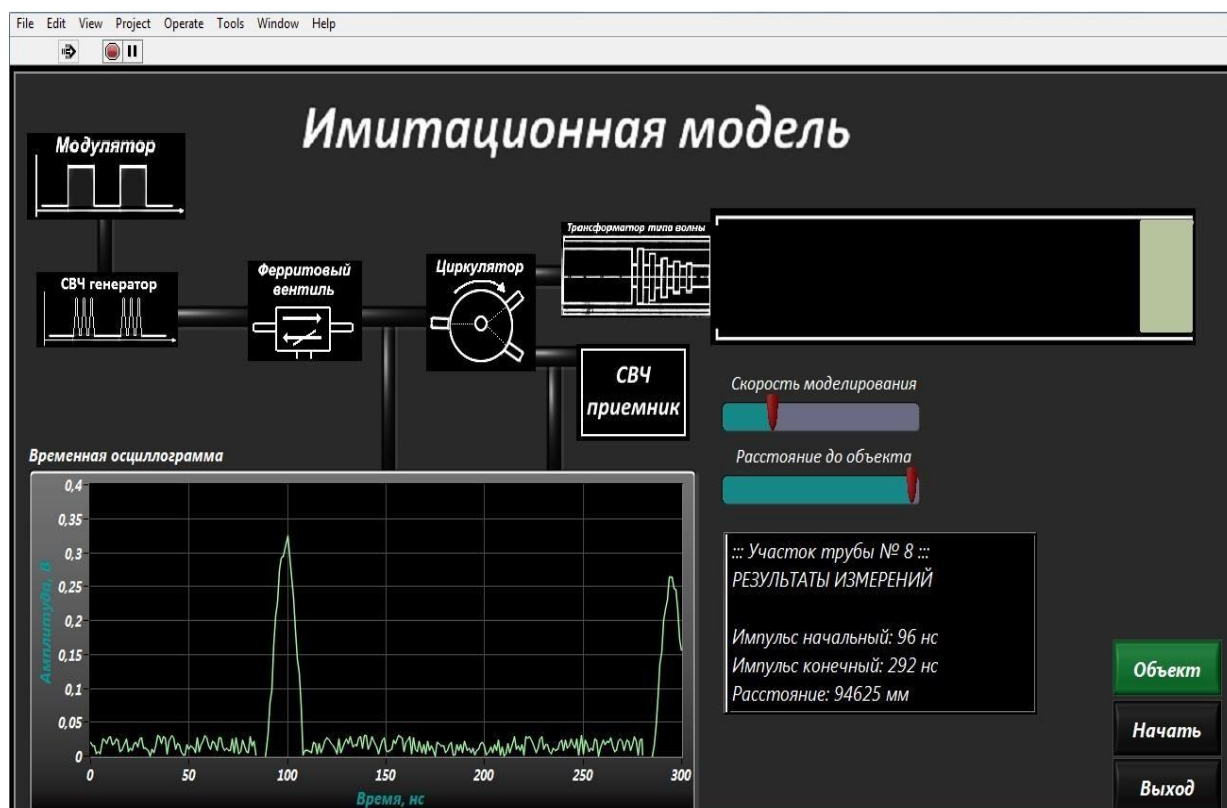


Рис. 33 – Интерфейс программы дефектного участка

Затем нажимаем на кнопку «Начать». Происходит расчет, благодаря которому оценивается время на осциллограмме между зондирующим и отраженным импульсами и далее рассчитывается расстояние от места ввода зондирующего импульса до местоположения гидратного образования. Результаты измерений отображаются на экране монитора справа от временной осциллограммы.

Зная расстояние, оператору следует немедленно сообщить главному супервайзеру объекта о немедленном принятии мер по устранению гидратной пробки.

Опробовав систему по анализу состояния магистральных газопроводов на наличие гидратных пробок, нужно произвести измерения в реальных полевых условиях. Следует доработать модель для увеличения протяженности сканируемого участка.

## **Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Существует множество факторов, определяющих перспективность научного исследования. Одним из таких факторов является коммерческая ценность разработки.

Оценка коммерческой ценности разработки является необходимым условием при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов. Это важно знать для анализа перспектив проводимых научных исследований.

Таким образом, целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и результативности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

### **5.1 Предпроектный анализ**

#### **5.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования**

Для анализа потребителей результатов исследования был рассмотрен целевой рынок и проведено его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Лабораторный макет для определения местоположения инородных объектов в трубопроводе был разработан сотрудниками НИ ТПУ. Таким образом, основным потребителем результатов исследований, проводимых с

помощью данного макета, является НИ ТПУ. Непосредственными пользователями лабораторного макета будут являться студенты, обучающиеся по специальности 200100 «Приборостроение» на кафедре ФМПК.

Если удастся добиться практической реализации и создания системы обнаружения инородных объектов в трубопроводах на основе радиоволнового метода контроля, то потенциальными потребителями могут выступить предприятия нефтегазодобывающей отрасли. В перспективе система может быть использована для контроля протяженных участков магистральных трубопроводов; для проведения непрерывного контроля напряженных участков трубы в местах с плотной застройкой, в местах, где расположены промышленные зоны, а также вблизи железных и автомобильных дорог.

Таким образом, потенциальными потребителями можно назвать такие компании, как ООО «Газпром трансгаз Томск», ОАО «АК «Транснефть», ООО «Трубопровод Контроль Сервис», ООО «Томский Инженерно-технический Центр», АО НПЦ «Молния», ЗАО «РОСДИАГНОСТИКА» и пр.

#### **5.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Данный анализ проводился при помощи оценочной карты, приведенной в таблице 2. Для этого в качестве конкурентных систем обнаружения инородных объектов в трубопроводах были выбраны:

1. стационарная система контроля на основе акустической эмиссии;
2. автоматическая поисковая система «Эхо».

Таблица 2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Удобство в эксплуатации	0.1	5	4	4	0.5	0.4	0.4
2. Помехоустойчивость	0.05	5	5	4	0.25	0.25	0.2
3. Надежность	0.1	5	5	4	0.5	0.5	0.4
4. Уровень шума	0.05	4	4	4	0.2	0.2	0.2
5. Безопасность	0.04	5	5	5	0.2	0.2	0.2
6. Минимизация массогабаритных характеристик	0.1	5	3	5	0.5	0.3	0.5
7. Виброустойчивость	0.1	5	4	4	0.5	0.4	0.4
8. Функциональная мощность	0.05	4	5	4	0.2	0.25	0.2
9. Возможность подключения в сеть ЭВМ	0.1	3	4	5	0.3	0.4	0.5
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Экономия денежных средств потребителя	0.1	5	3	5	0.5	0.3	0.5
2. Конкурентоспособность продукта	0.05	5	5	5	0.25	0.25	0.25
3. Цена	0.06	5	3	5	0.3	0.18	0.3
4. Предполагаемый срок эксплуатации	0.05	5	5	5	0.25	0.25	0.25
5. Послепродажное обслуживание	0.05	5	5	5	0.25	0.25	0.25
Итого	1				4.7	4.13	4.55



Критерии для сравнения и оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения, приведенные в таблице 1, подобраны, исходя из выбранных объектов сравнения с учетом их технических и экономических особенностей разработки и эксплуатации.

Позиция разработки и конкурентов оценивалась по каждому показателю по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме составляют 1.

Анализ конкурентных технических решений определялся по формуле:

$$K = \sum_{i=1}^n V_i B_i,$$

где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

$V_i$  – вес показателя (в долях единицы);  $B_i$

– балл  $i$ -го показателя.

Основываясь на знаниях о конкурентах, можно сделать вывод:

1. Уязвимость конкурентов заключается в громоздкости систем при тех же технических характеристиках.
2. Изготовление предлагаемой системы имеет меньшую себестоимость, чем у конкурентов. Следовательно, цена рекомендуемого продукта будет ниже.
3. Слабость системы диагностики технического состояния трубопроводов на основе радиоволнового метода контроля связана с отсутствием автоматизации процесса снятия и обработки полученных данных.

### 5.1.3 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой

комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT – анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Он проводился в несколько этапов.

На **первом этапе** было проведено описание сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Сильные и слабые стороны, возможности и угрозы приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Матрица SWOT

<p><b>Сильные стороны научного проекта:</b>  С1. Высокая степень достоверности и точности, полученных в ходе проведения диагностики, результатов; С2. Более высокая скорость проведения радиоволнового контроля по сравнению с аналогами;  С3. Низкие ресурсозатраты;  С4. Высокая энергоэффективность контроля;  С5. Экологичность технологии.</p>	<p><b>Слабые стороны научного проекта:</b>  Сл1. Отсутствует автоматизация процесса обнаружения инородных объектов в трубопроводах;  Сл2. Отсутствие прототипа научной разработки;  Сл3. Наличие ограничения по дальности проведения диагностики.</p>
<p><b>Возможности:</b> В1. Увеличение финансирования;  В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт;  В3. Повышение стоимости конкурентных разработок.</p>	<p><b>Угрозы:</b>  У1. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования;  У2. Отсутствие спроса на новые технологии производства;  У3. Развитая конкуренция технологий производства.</p>

**Второй этап** состоял в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей

среды. Это соответствие или несоответствие помогли выявить степень необходимости проведения стратегических изменений.

В рамках данного этапа были построены интерактивные матрицы проекта. Их использование помогает разобраться с различными комбинациями взаимосвязей областей матрицы SWOT.

Матрица «Сильные стороны-возможности» (таблица 4) показывает, какие сильные стороны необходимо использовать, чтобы получить отдачу от возможностей во внешней среде.

Таблица 4 – Матрица «Сильные стороны-возможности»

	Сильные стороны					
		C1.	C2.	C3.	C4.	C5.
Возможности	B1.	-	-	-	-	-
	B2.	+	+	+	+	+
	B3.	-	-	+	-	-

Анализ таблицы 4 представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и возможностей: B2C1C2C3C4C5.

Матрица «Слабые стороны-возможности» (таблица 5) показывает, за счет каких возможностей внешней среды организация сможет преодолеть имеющиеся слабости.

Таблица 5 – Матрица «Слабые стороны-возможности»

	Слабые стороны			
		Сл1.	Сл2.	Сл3.
Возможности	B1.	+	+	+
	B2.	-	-	-
	B3.	-	-	-

Анализ таблицы 5 представляется в форме записи сильно коррелирующих слабых сторон и возможностей: B1Сл1Сл2Сл3.

Матрица «Сильные стороны-угрозы» (таблица 6) показывает, какие силы необходимо использовать организации для устранения угроз.

Таблица 6 – Матрица «Сильные стороны-угрозы»

	Сильные стороны					
Угрозы		C1.	C2.	C3.	C4.	C5.
	У1.	-	-	-	-	-
	У2.	+	+	+	+	+
	У3.	+	+	+	+	+

Анализ таблицы 6 представляется в форме записи сильно коррелирующих сильных сторон и угроз: У2С1С2С3С4С5, У3С1С2С3С4С5.

Матрица «Слабые стороны-угрозы» показывает (таблица 7), от каких слабостей необходимо избавиться, чтобы попытаться предотвратить нависшую угрозу.

Таблица 7 – Матрица «Слабые стороны-угрозы»

	Слабые стороны			
Угрозы		Сл1.	Сл2.	Сл3.
	У1.	0	0	-
	У2.	+	+	+
	У3.	+	+	+

Анализ таблицы 7 представляется в форме записи сильно коррелирующих слабых сторон и угроз: У2Сл1Сл2Сл3, У3Сл2Сл1Сл3.

По окончании **третьего этапа** была составлена итоговая матрица SWOT-анализа, которая приведена в Приложении Б.

За счет увеличения финансирования, и, впоследствии, приобретения современного оборудования и автоматизации процесса диагностики

трубопроводов станет возможным создание и внедрение СВЧ технологий в промышленное использование. Это, в свою очередь, повлечет использование радиоволнового метода на крупных предприятиях для обнаружения инородных объектов в трубопроводах, что в значительной мере позволит снизить количество аварийных ситуаций.

#### **5.1.4 Оценка готовности проекта к коммерциализации**

Для оценки готовности проекта к коммерциализации была заполнена специальная форма, содержащая показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенции разработчика научного проекта. Перечень вопросов приведен в таблице 8.

При проведении анализа по таблице 8, по каждому показателю ставилась оценка по пятибалльной шкале. При этом система измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) отличается. Так, при оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Таблица 8 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
	Определен имеющийся научнотехнический задел	4	4
	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	2	3
	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	3	3
	Определена товарная форма научнотехнического задела для представления на рынок	4	4
	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	1	2
	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	1	1
Продолжение таблицы 8			
	Проведены маркетинговые	2	2
	исследования рынков сбыта		
	Разработан бизнес-план коммерциализации научной	1	1
	разработки		
	Определены пути продвижения	1	1
	научной разработки на рынок		
	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	2	2
	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	1
	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	1

	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	1	1
	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	1
	Проработан механизм реализации научного проекта	1	1
	<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>	26	28

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определялась по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i$$

где  $B_{\text{сум}}$  – суммарное количество баллов по каждому направлению;

$B_i$  – балл по  $i$ -му показателю.

Значение  $B_{\text{сум}}$  позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации.  $B_{\text{сум}}$  имеет следующие значения 26 и 28, следовательно, перспективность научного проекта к коммерциализации оценивается как ниже среднего.

Низкий балл обусловлен тем, что рассматриваемая система обнаружения инородных объектов в трубопроводах находится на стадии НИР (научноисследовательская работа), поэтому коммерциализация разработки не предусмотрена.

## 5.2 Инициация проекта

### 5.2.1 Цели и результат проекта

Своевременная диагностика технического состояния трубопроводов позволяет предупреждать аварийные ситуации, связанные с повреждениями трубопроводов в процессе их эксплуатации и минимизировать затраты на ремонтно-восстановительные работы.

Объектом исследования является процесс обнаружения и устранения мест возможного разрыва труб, вызванных закупоркой полного сечения газонефтепроводов, предмет исследования – применение радиоволнового метода контроля для обнаружения и устранения инородных объектов в трубопроводах.

Основными преимуществами СВЧ метода контроля состояния трубопроводов являются:

- ✓ высокая степень достоверности и точности результатов,
- полученных в ходе проведения диагностики;
- ✓ возможность отслеживать постоянное и периодическое изменение состояния контролируемого участка трубопровода;
  - ✓ высокая оперативность контроля;
  - ✓ возможность проведения непрерывного контроля напряженных участков трубы в местах с плотной застройкой.

Под заинтересованными сторонами проекта понимаются лица или организации, которые активно участвуют в проекте или интересы которых могут быть затронуты как положительно, так и отрицательно в ходе исполнения или в результате завершения проекта. Это могут быть заказчики, спонсоры, общественность и т.п. Информация по заинтересованным сторонам проекта представлена в таблице 9.



Таблица 9 – Заинтересованные стороны проекта

<b>Заинтересованные стороны проекта</b>	<b>Ожидания заинтересованных сторон</b>
Научное сообщество (лаборатории, научно-исследовательские центры, занимающиеся фундаментальными и прикладными исследованиями в области неразрушающего контроля и диагностики)	Результаты фундаментальных исследований, полученных при выполнении работы
Предприятия, занимающиеся транспортировкой газа, нефти и нефтепродуктов (например, ООО «Газпром трансгаз Томск», ОАО «АК «Транснефть»)	Снижение затрат на ремонтновосстановительные работы, связанные с повреждениями трубопроводов в процессе их эксплуатации
ООО «Трубопровод Контроль Сервис», ООО «Томский Инженерно-технический Центр», АО НПЦ «Молния», ЗАО «РОСДИАГНОСТИКА» и пр.	Появление на рынке недорогой системы для быстрого и точного обнаружения инородных объектов в трубопроводах
ООО «Научно-производственная фирма «АВЭК», ООО «ПАНАТЕСТ» и пр.	Появление конкуренции на рынке

В таблице 10 представлена информация об иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 10 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Продemonстрировать работоспособность СВЧ метода обнаружения инородных объектов в трубопроводах.
Ожидаемые результаты проекта:	Перечень рекомендаций для повышения эффективности диагностики трубопроводов при практической реализации радиоволнового метода.
	Экспериментальная проверка работоспособности лабораторного макета РВД.
	Принципиальная схема измерителя ВИ.
Требования к результату проекта:	Предоставленные рекомендации должны иметь практическую ценность и положительно влиять на эффективность проведения СВЧ контроля трубопроводов.
	Принципиальная схема измерителя ВИ помимо полного удовлетворения требований, предъявляемых к системе управления, схема должна обеспечивать высокую надежность, простоту и экономичность, удобство оперативной работы, эксплуатации, четкость оформления.

### 5.2.2 Организационная структура проекта

На данном этапе работы был составлен список основных участников рабочей группы данного проекта, а также прописаны функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте.

Эта информация представлена в таблице 11.

Таблица 11 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час.

1	Шиян Владимир	Научный	Координация	1448
Продолжение таблицы 11				
	Петрович, каф. ФМПК, доцент, к.ф.-м.н.	руководитель проекта	деятельности исполнителя проекта	
2	Шибико Анатолий Вячеславович, магистрант	Исполнитель проекта	Выполнение проектных работ	2952
ИТОГО:				4400

### 5.2.3 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а так же «границы проекта» – параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта.

Ограничения проекта представлены в таблице 12.

Таблица 12 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
1. Бюджет проекта	930000 руб.
1.1 Источник финансирования	средства ТПУ
2. Сроки проекта	1.09.2016 – 30.05.2018 гг.
2.1. Дата утверждения плана управления проектом	12.11.2016
2.2. Дата завершения проекта	30.05.2018 г.

### 5.3 Планирование управления научно-техническим проектом

### 5.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы; □ установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

В данном разделе составили перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провели распределение исполнителей по видам работ. Для данной магистерской диссертации порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Студент
	3	Выбор направления исследований	Руководитель
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, лаборант
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Подготовка образцов для экспериментов	Студент
	6	Проведение экспериментов	Прочие сотрудники
Обобщение и оценка результатов	7	Расшифровка данных и сравнение с имеющимися показателями	Студент
Оформления отчета по НИР	8	Составление пояснительной записки	Студент

### 5.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожі}$  использовали следующую формулу:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (X)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;  $t_{mini}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;  $t_{maxi}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определили продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i}, \quad (X)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

### 5.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого воспользовались следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (\text{X})$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;  
 $T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;  $k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определили по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} (1.478) = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (\text{X})$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;  
 $T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;  
 $T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

В 2017 году 365 календарных дней: из них  
выходных/ праздничных – 118, а рабочих – 247.

В 2018 году 365 календарных дней: из них  
выходных/ праздничных – 118, а рабочих – 247.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе  $T_{ki}$  округляли до целого числа. Все рассчитанные значения свели в таблицу 14.

Таблица 14 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ									Исполнители	Длительность работ в рабочих днях, $T_{pi}$			Длительность работ в календарных днях, $T_{ki}$				
	$t_{min}$ , чел-дни			$t_{max}$ , чел-дни			$t_{ож}$ , чел-дни				Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3		
	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3	Исп. 1	Исп. 2	Исп. 3									
Составление и утверждение технического задания	2	2	2	7	7	7	4	4	4	Руководитель			4	4	4	6	6	6
Подбор и изучение материалов по теме	8	8	8	15	15	15	10.8	10.8	10.8	Студент			10.8	10.8	10.8	16	16	16
Выбор направления исследований	5	5	5	9	9	9	6.6	6.6	6.6	Руководитель			6.6	6.6	6.6	10	10	10
Календарное планирование работ по теме	2	2	2	6	6	6	3.6	3.6	3.6	Руковод.-студ.			1.8	1.8	1.8	3	3	3
Подготовка образцов для экспериментов	9	7	11	12	13	19	10.2	9.4	14.2	Студент			10.2	9.4	14.2	16	14	21
Проведение экспериментов	20	22	19	36	38	40	26.4	28.4	27.4	Прочие сотрудники			26.4	28.4	27.4	40	42	41
Расшифровка данных и сравнение с имеющимися показателями	14	12	16	23	18	22	17.6	14.4	18.4	Студент			17.6	14.4	18.4	27	22	28
Составление пояснительной записки	25	36	20	45	55	40	33	43.6	28	Студент.			33	43.6	28	49	65	42

На основе таблицы 15 построили календарный план-график. График строится для максимального по длительности исполнения работ в рамках научно-исследовательского проекта с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени, отведённый на написания магистерской диссертации. Таблица 15 – Календарный план график проведения НИР по теме

[illegible]





### 5.3.4 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета необходимо провести полную оценку всех расходов, необходимых для ее выполнения. Расходы группируются по следующим статьям:

- ✓ расходы на сырье, материалы, покупные изделия;
- ✓ расходы на специальное оборудование
- ✓ основная заработная плата;
- ✓ дополнительная заработная плата
- ✓ отчисления в социальные фонды;
- ✓ работы, выполняемые сторонними организациями;
- ✓ накладные расходы.

#### 5.3.4.1 Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты (за вычетом отходов)

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ.

В стоимость материальных затрат включают транспортнозаготовительные расходы (3 – 5% от цены). В эту же статью включаются затраты на оформление документации (канцелярские принадлежности, тиражирование материалов).

Результаты по данной статье занесены в таблицу 16.

Таблица 16 – Сырье, материалы, комплектующие изделия и покупные полуфабрикаты

№ п/п	Наименование	Кол-во	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
----------	--------------	--------	--------------------------	-------------

1	Блокнот	2 шт.	40	80
2	Бумага для принтера формата А4	1 уп.	200	200
3	Ручка шариковая	2 шт.	10	20
4	Карандаш	2 шт.	10	20
5	Картридж	1 шт.	500	500
Всего за материалы				820
Транспортно-заготовительные расходы (5%)				41
Итого по статье $C_m$				861

Кроме приведенных выше материалов, для выполнения магистерской диссертации необходима электроэнергия, потребляемая компьютером. Затраты на электроэнергию  $C_{эл}$  рассчитываются по формуле:

$$C_{эл} = T_{эл} \cdot P \cdot t,$$

где

$T_{эл}$  – тариф на электроэнергию (2.6 р. за 1 кВт·ч);  $P$  – мощность оборудования (0.5 кВт·ч);  $t$  – время использования оборудования (из расчета работы 4 часа в сутки).

$$C_{эл-нр.} = 2.6 \cdot 0.5 \cdot 4 \cdot 181 = 941 \text{ руб.}$$

$$C_{эл-и.} = 2.6 \cdot 0.5 \cdot 4 \cdot 369 = 1535 \text{ руб.}$$

Таким образом, суммарные расходы на материалы составляют:

$$C_m = 861 + 941 + 1535 = 3337 \text{ руб.}$$

#### **5.3.4.2 Специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ**

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной

аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме.

В таблице 17 приведен расчет затрат по статье «Специальное оборудование для научных работ».

Таблица 17 – Специальное оборудование для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, тыс. руб.	Общая стоимость оборудования, тыс. руб.
1	Персональный компьютер	2	20000	40000
2	Принтер	1	2500	2500
Итоговая сумма				42500

#### 5.3.4.3 Основная заработная плата

Данная статья расходов включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением проекта (научный руководитель, исполнитель). Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Основная заработная плата работника определяется по формуле:

$$Z_{осн.} = Z_{дн.} \cdot T_{раб.},$$

где  $Z_{дн.}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.;  $T_{раб.}$

– продолжительность работ в рабочих днях.

Среднедневная заработная плата  $Z_{дн.}$  рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн.} = Z_{м} / F_{дМ},$$

где  $Z_{м}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года (при отпуске в 24 раб. дня  $M = 11.2$  месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней  $M = 10.4$  месяца, 6-дневная неделя);

$F_o$  – действительный годовой фонд рабочего времени научнотехнического персонала, раб. дн.

Месячный должностной оклад работника рассчитывается по формуле

$$Z_m = Z_b \cdot k_p,$$

где  $k_p$  – районный коэффициент в Томске.

Таким образом, месячный должностной оклад научного руководителя (доцент, к.ф.-м.н.) составляет

$$Z_{м.нр.} = 23264.86 \cdot 1.3 = 30244 \text{ руб.}$$

Месячный должностной оклад исполнителя, как учебновспомогательного персонала 2-го квалификационного уровня:

$$Z_{м.и.} = 8022.65 \cdot 1.3 = 10430 \text{ руб.}$$

Определим действительный годовой фонд рабочего времени  $F_o$  научного руководителя, исполнителя, исходя из того, что они работают по 6-дневной неделе (таблица 18).

Таблица 18 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Исполнитель
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней	61	61
- выходные дни	44	44
- праздничные дни	17	17
Потери рабочего времени	48	0
- отпуск	48	0
- невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	256	304

Среднедневная заработная плата научного руководителя:

$$З_{дн. нр.} = \frac{30244 \cdot 10.4}{256} = 1229 \text{ руб.}$$

Среднедневная заработная плата исполнителя:

$$З_{дн. и.} = \frac{10430 \cdot 10.4}{304} = 357 \text{ руб.}$$

Исходя из количества рабочих, основная заработная плата составит для руководителя:

$$З_{осн. нр.} = 1229 \cdot 181 = 222390 \text{ руб.}$$

для исполнителя:

$$З_{осн. и.} = 357 \cdot 369 = 131656 \text{ руб.}$$

Итоговый расчёт основной заработной платы приведён в таблице 19.

Таблица 19 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$З_m$ , руб.	$З_{дн.}$ , руб.	$T_{раб.}$ , раб. дн.	$З_{осн.}$ , руб.
Научный руководитель	30244	1229	181	222390
Исполнитель	10430	357	369	131656

#### 5.3.4.4 Расчет дополнительной заработной платы

Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала составляет в среднем 12% от суммы основной заработной платы.

Таким образом, дополнительная заработная плата:

для научного руководителя:

$$З_{д. нр.} = 222390 \cdot 0.12 = 26687 \text{ руб.}$$

для исполнителя:

$$З_{д. и.} = 131656 \cdot 0.12 = 15799 \text{ руб.}$$

В таблице 20 представлена заработная плата рабочей группы проекта.

Таблица 20 – Заработная плата исполнителей научного проекта

Заработная плата	Научный руководитель	Исполнитель
Основная зарплата	222390	131656
Дополнительная зарплата	26687	15799
Итого	249077	147455
Итого по статье $C_{зн.}$	396532	

#### 5.3.4.5 Расчет отчислений на социальные нужды

Отчисления на социальные нужды включают в себя отчисления во внебюджетные фонды: пенсионный фонд, фонд ОМС и т.д. Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды  $k_{внеб.}$  составляет 30%.

$$C_{внеб.} = k_{внеб.} \cdot C_{зн.},$$

$$C_{внеб.} = 0.3 \cdot 396532 = 118960 \text{ руб.}$$

#### 5.3.4.6 Оплата работ, выполняемых сторонними организациями и предприятиями

Оплата работ, выполняемых сторонними организациями, включает в себя:

- Услуги Internet 300 руб. в месяц. За 24 месяца – 7200 руб.
- Переплет – 60 руб.

Суммарные расходы на оплату работ, выполняемых сторонними организациями: 7260 руб.

#### 5.3.4.7 Расчет накладных расходов

В эту статью включаются затраты на управление и хозяйственное обслуживание, которые могут быть отнесены непосредственно на конкретную тему. Кроме того, сюда относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др. Накладные расходы составляют 80100% от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Примем коэффициент накладных расходов  $k_{\text{накл.}}$  равным 90%,

$$C_{\text{накл.}} = k_{\text{накл.}} \cdot C_{\text{зп.}},$$

$$C_{\text{накл.}} = 0.9 \cdot 396532 = 356879 \text{ руб.}$$

Группировка затрат по статьям приведена в таблице 21.

Таблица 21 – Группировка затрат по статьям

Статьи затрат (руб.)						
$C_m$	$C_{\text{спец.об.}}$	$C_{\text{зп.}}$	$C_{\text{внеб.}}$	$C_{\text{ст.орг.}}$	$C_{\text{накл.}}$	Итого плановая себестоимость
3337	42500	396532	118960	7260	356879	925468

Для реализации данного научного исследования потребуется 925468 рублей.

#### 5.3.5 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать



последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Информация по данному разделу сведена в таблицу (см. табл. 22).

Таблица 22 – Реестр рисков

Название	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (15)	Влияние риска (1-5)	Уровень риска	Способы смягчения риска	Условия наступления
Риск невостребованности (оригинальности) продукции	Отсутствие прибыли от реализации продукции	2	4	Низкий	Техническая модернизация разработки	Отсутствие спроса на новый продукт, перенасыщение рынка однотипной продукцией
Риск технологической	Низкий уровень	1	5	Низкий	Грамотная	Отсутствие инвесторов
Продолжение таблицы 22						
«неадекватности»	финансирования проекта				оценка практического применения системы диагностики	
Риск финансовой «неадекватности»	Использование материалов низкого качества,	1	4	Низкий	Точный расчет необходимых затрат	Неверный расчет бюджета проекта
	остановка реализации проекта					
Риск неуправляемости проектом	Низкий уровень качества продукции	3	5	Средний	Привлечение высококвалифицированного персонала	Низкий профессиональный уровень разработчиков

1. *Риск невостребованности (оригинальности) продукции обусловлен тем, что оригинальные технологии могут быть невостребованы производством и рынком.*

2. Существует принципиальная разница между технологией как продуктом интеллектуальной деятельности и технологией как объектом инвестирования. Если новая продукция технологически применима в производстве, то она становится инвестиционно-привлекательной. Если наоборот, то возникает *риск технологической «неадекватности»*.

3. *Риск финансовой «неадекватности»* связан с несоответствием значения инновационного проекта и предоставляемых финансовых средств на его реализацию.

4. Успешная реализация проекта предполагает сочетание не только оригинальности и проработанности проекта, но и сплоченности и профессионализма управленческой команды. При отсутствии высококвалифицированных кадров может возникнуть *риск неуправляемости* проектом.

## **5.4 Определение эффективности исследования**

### **5.4.1 Оценка сравнительной эффективности исследования**

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Оценка эффективности исследования проводилась на основании сравнения рассмотренной в работе системы обнаружения инородных объектов в трубопроводах на основе радиоволнового метода и двух конкурентных систем:

1. стационарная система контроля на основе акустической эмиссии;

## 2. автоматическая поисковая система «Эхо».

В главе 1 «Системный анализ» пункт 1.3 «Методы и средства контроля линейной части магистральных трубопроводов» приведено полное техническое описание данных систем.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\Phi}^p = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}},$$

где

$I_{\Phi}^p$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость исполнения;

$\Phi_{max}$  – максимальная стоимость исполнения

научноисследовательского проекта.

Так как стоимость исполнения представленного проекта максимальна, в сравнении с аналогами, следовательно, интегральные финансовые показатели разработки и аналогов равны

$$I_{\Phi}^p = 1, \quad I_{\Phi}^{a1} = 0.9, \quad I_{\Phi}^{a2} = 0.8.$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования определяется следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a, \\ I_m^p = \sum_{i=1}^n a_i b_i^p,$$

где

$I_m$  – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го параметра;

$b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;  $n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности проводился на основании данных представленных в таблице 1.

Итоги расчетов:

$$I_m^p = 4.7, \quad I_m^{a1} = 4.1, \quad I_m^{a2} = 4.6.$$

Интегральный показатель эффективности разработки ( $I_{\text{финр}}^p$ ) и аналога ( $I_{\text{финр}}^a$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\Phi}^p},$$

$$I_{\text{финр}}^a = \frac{I_m^a}{I_{\Phi}^a}.$$

Интегральные финансовые показатели эффективности равны:

$$I_{\text{финр}}^p = 4.7, \quad I_{\text{финр}}^{a1} = 4.6, \quad I_{\text{финр}}^{a2} = 5.8.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта. Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финр}}^a}.$$

Таблица 23 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатель	Разработка	Аналог 1	Аналог 2

1	Интегральный финансовый показатель	1	0.9	0.8
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	4.7	4.1	4.6
3	Интегральный показатель эффективности	4.7	4.6	5.8
4	Сравнительная эффективность	1.02	1.04	0.81

Полученные данные позволяют сделать следующие выводы: интегральный показатель ресурсоэффективности разработки превышает показатели аналогов, что говорит о том, что исследуемая система достаточно эффективна и может конкурировать с системами подобного типа. Однако, показатель сравнительной эффективности показывает, что технические слабости в разрабатываемой системы присутствуют и их необходимо решать. Несомненно, необходимо продолжать исследования в данном направлении и разработать автоматизированную систему съема и обработки информации.

## **Социальная ответственность**

### **Введение**

Сущность выполняемой научно-исследовательской работы заключается в том, чтобы разработать прибор – СВЧ дефектоскоп, который будет производить контроль участков магистрального газопровода на месторождении, а оператор будет фиксировать результаты измерений.

Прибор планируется применять в нефтегазовой отрасли. Пользователями устройства будут работники эксплуатирующих организаций,

в чьи обязанности входит контроль состояния наиболее опасных участков газопровода.

## **6. Производственная безопасность.**

### **6.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть при проведении измерений СВЧ дефектоскопом**

Таблица 24 – Опасные и вредные факторы, возникающие при работе с СВЧ дефектоскопом

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Проведение исследований:  1) Установка прибора на место измерений; 2) Подключение к ПК; 3) Выполнение измерений; 4) СВЧ дефектоскоп (как источник опасных и вредных факторов)	1. Повышенный уровень шума; 2. Недостаточная освещенность рабочей зоны; 3. Повышенный уровень электромагнитных излучений	1. Электрический ток. 2. Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования;	1. ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ 2. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ 3. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 4. ГОСТ Р 55710-20135 5. СанПиН 2.2.4.1191-03 6. СанПиН 5804-91 7. ГОСТ 12.1.006-84 8. ГОСТ ИЕС 61140-2012 9. СанПиН 2.2.4.3359-16

### **6.2 Обоснование мероприятий по защите оператора от действия опасных и вредных факторов.**

#### **6.2.1 Мероприятия по электробезопасности**

Электробезопасность в операторной должна обеспечиваться следующими мероприятиями:

для защиты от напряжения прикосновения все токоведущие части должны быть изолированы; запрещается использовать кабели и провода с поврежденной или потерявшей защитные свойства изоляцией; неизолированные токоведущие части должны быть оборудованы защитными ограждениями или расположены в недоступном для прикосновения месте;

запрещается пользоваться поврежденными розетками, распределительными коробками, рубильниками и другими электроустановочными приборами; устройство и эксплуатация временных электросетей не допускается; для защиты от поражения электрическим током путем возникновения потенциала на проводящих корпусах электроприборов необходимо наличие защитного заземления; согласно ПУЭ сопротивление заземляющего устройства в любое время года должно быть не более 4 Ом, при этом сечение заземляющей жилы должно быть не менее 4 мм<sup>2</sup> для медных проводников, не менее 6 мм<sup>2</sup> – для алюминиевых и не менее 20 мм<sup>2</sup> – для стальных; для защиты от токов короткого замыкания необходимо наличие быстродействующих устройств защиты; электрическая сеть должна иметь защиту от токов короткого замыкания, обеспечивающую по возможности наименьшее время отключения и требования селективности; в качестве аппаратов защиты должны применяться автоматические выключатели или предохранители.

При работе в операторской, с целью обеспечения электробезопасности пользователей компьютеров, должны выполняться следующие требования:

все узлы одного персонального компьютера и подключенное к нему периферийное оборудование должны питаться от одной фазы электросети;

корпуса системного блока и внешних устройств должны быть заземлены радиально с одной общей точкой;

для аварийного отключения компьютерного оборудования должен использоваться отдельный щит с автоматами защиты и общим рубильником; все соединения ПЭВМ и внешнего оборудования должны производиться при отключенном электропитании.

Каждому необходимо знать меры медицинской помощи при поражении электрическим током. В любом рабочем помещении необходимо иметь медицинскую аптечку для оказания первой медицинской помощи.

Поражение электрическим током чаще всего наступает при небрежном обращении с приборами, при неисправности электроустановок или при их повреждении.

Для освобождения пострадавшего от токоведущих частей необходимо использовать непроводящие материалы. Если после освобождения пострадавшего из-под напряжения он не дышит, или дыхание слабое, необходимо вызвать бригаду скорой медицинской помощи и оказать пострадавшему доврачебную медицинскую помощь:

обеспечить доступ свежего воздуха (снять с пострадавшего стесняющую одежду, расстегнуть ворот); очистить

дыхательные пути;

приступить к искусственной вентиляции легких (искусственное дыхание); в случае необходимости приступить к непрямому массажу сердца.

Любой электроприбор должен быть немедленно обесточен в случае: возникновения угрозы жизни или здоровью человека; появления запаха, характерного для горящей изоляции или

пластмассы; появления дыма или

огня; появления

искрения;

обнаружения видимого повреждения силовых кабелей или коммутационных устройств.

### **6.3 Мероприятия по выполнению норм искусственного освещения**

Процесс снятия показаний при работе с СВЧ дефектоскопом не является работой, при которой требуется высокая освещенность. Поэтому исходя из свода правил СП 52.13330.2016 "Естественное и искусственное освещение" (таблица 4.1) определили, что разряд работы в нашем случае  $V_B$ ,



а для данного разряда требуется освещенность в 200 лк при системе общего освещения.

### **6.3.1 Мероприятия по борьбе с производственным шумом**

Предельно допустимый уровень ПДУ шума – это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ шума не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц.

Допустимый уровень шума ограничен санитарными нормами «СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки». В соответствии с видом трудовой деятельности (измерительные и аналитические работы в лаборатории) допустимый уровень звука не превышает 60 дБА.

Снизить уровень шума в помещении можно использованием звукопоглощающих материалов с максимальными коэффициентами звукопоглощения в области частот 63 – 8000 Гц для отделки помещений (разрешенных органами и учреждениями Госсанэпиднадзора России), подтвержденных специальными акустическими расчетами.

### **6.3.2 Мероприятия по обеспечению электромагнитной безопасности**

В качестве основных элементов радиоволнового дефектоскопа используются генераторы сверхвысоких частот. Таким образом, при организации безопасности труда, необходимо учитывать воздействие электромагнитных полей СВЧ на организм человека.

Эффект воздействия СВЧ электромагнитного поля на биологические объекты в известной степени определяется количеством проникающей в них

и поглощаемой ими электромагнитной энергии. Значительная часть энергии микроволн поглощается тканями организма и превращается в тепло, что объясняют возникновением колебания ионов и дипольных молекул воды, содержащихся в тканях. Наиболее эффективное поглощение микроволн отмечается в тканях с большим содержанием воды: кровь, тканевая жидкость, слизистая желудка, кишок, хрусталик глаза и др.

Нагрев тканей в СВЧ поле является наиболее простым и очевидным эффектом действия микроволн на организм человека. Положение максимума температуры, его удаление от поверхности тела зависит от проводимости среды, а, следовательно, и от частоты радиоволны, действующей на ткань: с увеличением частоты (укорочением волны) максимум температуры приближается к поверхности.

Длительное и систематическое воздействие на организм СВЧ излучения вызывает повышенную утомляемость, периодически появляющуюся головную боль, сонливость или нарушение сна, повышение артериального давления и боли в области сердца. Под воздействием электромагнитных полей сверхвысоких частот наблюдаются изменения в крови, увеличение щитовидной железы, катаракта глаз, а у отдельных лиц — изменения в психической сфере (неустойчивые настроения, ипохондрические реакции) и трофические явления (выпадение волос, ломкость ногтей).

При работе с аппаратурой СВЧ необходимо выполнять требования ГОСТ 12.1.006-84 «Электромагнитные поля радиочастот».

Максимальная излучаемая мощность аппаратуры и максимальная плотность излучаемой энергии в зоне присутствия обслуживающего персонала указаны в технических условиях на приборы конкретных типов, причем максимальные значения плотности не должны превышать предельно допустимых значений, установленных нормами. Электромагнитное излучение в диапазоне частот 300 МГц ... 300 ГГц оценивается поверхностной плотностью потока энергии (ППЭ) излучения и создаваемой

им энергетической нагрузкой (ЭН) – суммарным потоком энергии, проходящим через единицу облучаемой поверхности за время действия  $t$  и выражаемым произведением ППЭ  $\cdot t$ . Нормативное значение ЭН за один рабочий день не превышает  $200 \text{ мкВт} \cdot \text{ч}/\text{см}^2$ , а максимальное значение ППЭ должно быть не более  $1000 \text{ мкВт}/\text{см}^2$ .

Санитарными нормами [16] установлено, что при ППЭ  $1000 \text{ мкВт}/\text{см}^2$  можно работать не более 15 мин., при  $100 \text{ мкВт}/\text{см}^2$  – не более 2 ч., а при  $10 \text{ мкВт}/\text{см}^2$  – в течение всего рабочего дня.

В России действует самый низкий предельно допустимый уровень –  $10 \text{ мкВт}/\text{см}^2$ , при котором не только не происходит тепловое воздействие на живой организм, но и воздействие на центральную нервную систему.

Максимальные уровни ППЭ на рабочем месте в лаборатории не превышают предельно допустимых значений.

В случаях необходимости проведения работ в условиях, отличающихся от установленных нормами, следует пользоваться защитными средствами и материалами.

Для защиты рабочего места от повышенной энергетической нагрузки необходимо использовать радиопоглощающие материалы, экраны, рассеиватели. Выбор материала осуществляют в зависимости от интенсивности и частоты излучения. Хорошим радиопоглощающим материалом является резина с повышенным содержанием сажи. Такие экраны в виде листов имеют, к тому же, внешнюю поверхность с периодическими выступами. Размер выступов зависит от частотного диапазона, в котором используют поглощающий материал, и обычно составляет примерно  $\lambda/4$ . В результате уменьшается отражение от поглотителя, и оно не носит зеркального характера. Часто резиновые листы дополнительно армируют металлической сеткой из хорошо проводящего материала (меди), представляющей сетчатый экран. В этом случае прошедшая энергия не

превышает 1 % от падающей. Таким образом, применением радиопоглощающих материалов снижают энергетическую нагрузку до установленных норм и ниже.

Для защиты локальных участков тела (например, глаз, лица) применяют защитные очки, маски и т.п. Очки выполняют из оптически прозрачных материалов, экранирующих СВЧ излучение.

#### **6.4 Мероприятия по обеспечению безопасности оборудования для работников**

Согласно ГОСТ 12.2.003-91 Производственное оборудование должно обеспечивать безопасность работающих при монтаже (демонтаже), вводе в эксплуатацию и эксплуатации как в случае автономного использования, так и в составе технологических комплексов при соблюдении требований (условий, правил), предусмотренных эксплуатационной документацией.

Материалы конструкции производственного оборудования не должны оказывать опасное и вредное воздействие на организм человека на всех заданных режимах работы и предусмотренных условиях эксплуатации, а также создавать пожаровзрывоопасные ситуации.

Конструкция производственного оборудования должна исключать на всех предусмотренных режимах работы нагрузки на детали и сборочные единицы, способные вызвать разрушения, представляющие опасность для работающих.

Если возможно возникновение нагрузок, приводящих к опасным для работающих разрушениям отдельных деталей или сборочных единиц, то производственное оборудование должно быть оснащено устройствами, предотвращающими возникновение разрушающих нагрузок, а такие детали и сборочные единицы должны быть ограждены или расположены так, чтобы их разрушающиеся части не создавали травмоопасных ситуаций.

В непосредственной близости от движущихся частей, находящихся вне поля видимости оператора, должны быть установлены органы управления аварийным остановом (торможением), если в опасной зоне, создаваемой движущимися частями, могут находиться работающие.

Элементы конструкции производственного оборудования не должны иметь острых углов, кромок, заусенцев и поверхностей с неровностями, представляющих опасность травмирования работающих, если их наличие не определяется функциональным назначением этих элементов. В последнем случае должны быть предусмотрены меры защиты работающих.

Перед началом выполнения работ должны быть проведены организационные мероприятия, важным из которых является проведение инструктажей для работников.

Программа первичного инструктажа на рабочем месте, согласованная со службой охраны труда и профсоюзным комитетом, включает следующие вопросы:

- общие сведения о технологическом процессе и оборудовании на данном рабочем месте, на производственном участке, в цехе; возникающие вредные и опасные производственные факторы;
- безопасная организация рабочего места;
- порядок подготовки к работе (проверка исправности оборудования, поисковых приборов, блокировок, заземления и др. средств защиты);
- безопасные приемы и методы работы; средства индивидуальной защиты на рабочем месте и правила пользования ими; безопасное передвижение на территории цеха, участка;
- опасные зоны машины, механизма, прибора; средства безопасности оборудования (предохранительные, тормозные устройства и ограждения, системы блокировки и сигнализации, знаки безопасности);

- внутрицеховые транспортные и грузоподъемные средства и механизмы;
- требования безопасности при погрузочно-разгрузочных работах и транспортировке грузов;
- требования по предупреждению травматизма;
- характерные причины аварий, взрывов, пожаров, производственных травм; меры предупреждения аварий, взрывов, пожаров; обязательные действия в опасных ситуациях;
- места расположения средств пожаротушения, противоаварийной защиты и сигнализации, способы их применения.

## **6.5 Экологическая безопасность.**

### **6.5.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду**

При разработке прибора влияние на окружающую среду будут оказывать отходы в виде остатков материала, из которого делается прибор (сплавы различных металлов, текстолит) которые будут негативно влиять на литосферу, а также при пайке металлов и сплавов свинцово-оловянными припоями (ПОС) различных марок с применением канифоли в качестве флюса сопровождается выделением в атмосферу аэрозолей свинца, олова и паров канифоли, что негативно влияет на атмосферу. При эксплуатации прибора не оказывается негативного воздействия на окружающую среду.

### **6.5.2 Обоснование мероприятий по защите окружающей среды.**

В качестве мероприятий по защите окружающей среды от негативного воздействия объекта исследования может служить переработка отработанных материалов, для предотвращения их влияния на литосферу. Также для уменьшения влияния паров, образующихся при пайке металлов и сплавов, на атмосферу целесообразно будет установить в помещении, где производятся работы воздушные фильтры для очистки воздуха.

### **6.5.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.**

#### **6.5.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований, а также которые могут возникнуть при исследовании объекта.**

К наиболее вероятным ЧС, которые может инициировать объект или которые могут возникнуть при исследовании объекта можно отнести электрическое замыкание и, как следствие, пожар. Основной причиной возникновения коротких замыканий является нарушение изоляции электрооборудования. Нарушение изоляции вызывается:

- перенапряжениями;
- старением изоляции;
- механическими повреждениями изоляции;
- неудовлетворительным уходом за оборудованием;
- неквалифицированными действиями обслуживающего персонала.

#### **6.5.3.2 Обоснование мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.**

При возгорании, возникновении пожара (основная причина – короткое замыкание), необходимо отключить СВЧ дефектоскоп от электросети (если это сделать невозможно, то необходимо отключить питающую сеть автоматическим или пакетным выключателем, или рубильником на лабораторном или силовом щите), вызвать пожарную команду и приступить к тушению пожара имеющими средствами пожаротушения. Следует помнить, что для тушения пожара на установках, находящихся под напряжением, можно пользоваться только углекислотным или порошковыми огнетушителями. При сильном возгорании, пожаре необходимо срочно вызвать электрика и обесточить помещение, после чего для тушения пожара можно использовать пенные огнетушители и воду.

## **6.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.**

### **Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.**

К самостоятельной работе с СВЧ дефектоскопом допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие ежегодное медицинское обследование (в соответствии с приказом Минздравсоцразвития России от 12.04.2011 г № 302Н "Об утверждении перечней вредных и (или) опасных производственных факторов и работ, при выполнении которых проводятся обязательные предварительные и периодические медицинские осмотры (обследования), и Порядка проведения обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров (обследований) работников, занятых на тяжелых работах и на работах с вредными и (или) опасными условиями труда"), вводный инструктаж, первичный инструктаж, обучение и стажировку на рабочем месте, проверку знаний требований охраны труда, а также имеющие группу по электробезопасности не ниже I и соответствующую квалификацию согласно тарифно-квалификационного справочника. Продолжительность рабочего дня не должна превышать 8 часов при 40-часовой рабочей неделе.

### **Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.**

В соответствии с ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ Рабочее место должно обеспечивать возможность удобного выполнения работ в положении сидя или стоя, или в положениях и сидя, и стоя. При выборе положения работающего необходимо учитывать:

- физическую тяжесть работ;
- размеры рабочей зоны и необходимость передвижения в ней работающего в процессе выполнения работ;
- технологические особенности процесса выполнения работ (требуемая точность действий, характер чередования по времени пассивного



наблюдения и физических действий, необходимость ведения записей и др.).

Рабочее место при выполнении работ в положении сидя должно соответствовать требованиям ГОСТ12.2.032-78

Рациональная организация рабочего места осуществляется с учетом требований производственной санитарии и требований ГОСТ Системы стандартов безопасности труда (ССБТ). При этом необходимо обеспечить: правильную планировку рабочего места и рациональное оснащение его соответствующим современным оборудованием и оргтехоснасткой; оптимальное пространственное расположение материальных средств производства и правильное его обслуживание, а также рациональную цветовую окраску оборудования и приспособлений и нормированное освещение.

Планировка рабочего места должна предусматривать:

а) возможность выполнения рациональных движений, необходимых для осуществления трудового процесса;

б) наиболее экономное использование производственных площадей и сокращение путей транспортировки материалов;

в) рациональное расположение оборудования и оснастки в соответствии с последовательностью технологического процесса, возможность экономных движений оператора (станочника) для осуществления трудового процесса и его безопасность.

При разработке планировки должны быть учтены общие антропометрические и физиологические данные человека.

При работе должны быть предусмотрены перерывы длительностью 20 мин через 1-2 ч после начала работы, длительностью 30 мин примерно через 2 ч после обеденного перерыва, при этом обеденный перерыв длительностью не менее 40 мин находится примерно в середине рабочего дня. Перерывы должны использоваться для активного отдыха.



### Список публикаций

1. Шибико А.В., Аникин А.В. Применение радиоволнового метода для определения местоположения гидратных пробок в газопроводах. Вестник современных исследований, 2018, № 4-1(19). – с. 165–166

2) Шибико А.В., Аникин А.В. Разработка СВЧ плазмотрона для конверсии природного газа. Вестник современных исследований, 2018, № 4-1(19). – с. 124–125

3) Шибико А.В. Радиоволновой метод контроля для определения местоположения гидратных образований. Неразрушающий контроль: сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции «Неразрушающий контроль: электронное приборостроение, технологии, безопасность». В 3 т. Т. 1 / Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 473 с. С. 261-265.

## **Заключение**

В результате выполнения магистерской диссертации была проведена экспериментальная проверка работоспособности лабораторного макета РВД, оптимизация параметров зондирующих СВЧ сигналов, представлен перечень рекомендаций для повышения эффективности диагностики трубопроводов при практической реализации СВЧ метода, разработана структурная и принципиальная схема измерителя ВИ.

По итогам анализа сравнительной эффективности можно с уверенностью утверждать, что система достаточно эффективна и может конкурировать с системами подобного типа.

## Список используемых источников

1. Годовой отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2013 г.
2. Патент RU 2207562 C1 G01N29/14
3. Гошко А.И. Трубопроводы целевого назначения Справочник в 2-х книгах. Кн. 2: Монтаж. Техническое обслуживание. Ремонт. М.: МЕЛГО, 2006.
4. Природный газ. Метан. Справочник.
5. [www.12821-80.ru/tech/100-Ochistka\\_nefteprovodov](http://www.12821-80.ru/tech/100-Ochistka_nefteprovodov)
6. Морозов Н.Н. Разработка СВЧ-технологии защиты трубопровода от заупорков при транспортировке вязких жидкостей. Вестник МГТУ, том 16, №1, 2013 г. стр.135-136.
7. Оптимизация выбора параметров зондирующих СВЧ сигналов, распространяющихся в длинномерных волноводах, заполненных жидкими веществами и примесями А.Б. Горощеня, В.А. Майстренко, А.И. Елецкий Омский государственный технический университет Омский научный вестник. – Выпуск (3), 36. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2006. – С. 123 – 128.
8. Полупроводниковые приборы. Диоды высокочастотные, диоды импульсные, оптоэлектронные приборы: Справочник / А.Б. Гитцевич, А.А. Зайцев, В.В. Мокряков и др.; Под ред. А.В. Голомедова. – М.: Радио и связь, 1988. – 952 с.: ил.
9. Измеритель КСВН панорамный Р2-61. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.
10. [http://gman1990.ru/articles.php?article\\_id=19](http://gman1990.ru/articles.php?article_id=19)
11. [http://www.micran.ru/sites/micran\\_ru/data/UserFile/Image/Equipment/SVCH/MYTO-3080.pdf](http://www.micran.ru/sites/micran_ru/data/UserFile/Image/Equipment/SVCH/MYTO-3080.pdf)
12. [http://www.kit-e.ru/articles/svch/2011\\_9\\_29.php](http://www.kit-e.ru/articles/svch/2011_9_29.php)
13. [http://www.rtc.ru/news\\_detail.asp?id=991](http://www.rtc.ru/news_detail.asp?id=991)
14. <http://www.tstu.ru/book/elib/pdf/2005/boyarinv.pdf>

15. СанПиН 2.2.4.548-96. 2.2.4. «Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормы»
16. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1383-03 «Гигиенические требования к размещению и эксплуатации передающих радиотехнических объектов»
17. Правила устройства электроустановок. - 7-е изд. - М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2007.-115 с.
18. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы»

## **4 Development of a simulation model in National Instruments LabVIEW**

The use of foreign objects in pipelines in this method requires the development of software for the direct measurement of the transmission interval of the received data on the operator's PC.

For the development of the simulation model, National Instruments LabVIEW products were chosen - this is the development environment and the platform for executing programs created in the graphical programming language "G". LabVIEW is used in data collection and processing systems, as well as for the management of technical objects and technological processes. Ideologically, LabVIEW is very close to SCADA-systems, but unlike them, it is more focused on solving problems not so much in the field of ACS TP as in the field of ASNI.

The graphical programming language "G", used in LabVIEW, is based on the architecture of data flows. The sequence of execution of operators in such languages is determined not by the order of their occurrence (as in imperative programming languages), but by the presence of data at the inputs of these operators. Operators not connected by data are executed in parallel in an arbitrary order.

This environment was chosen in view of the fact that I, as a developer, already had experience in developing applications in it.

### **4.1 Development of a simulation model of a laboratory installation**

A project was created for a system model consisting of a top-level subprogram "MAIN.VI", 11 subprograms and 7 developed TypeDEFs - group elements

images	31.03.2018 16:19	Папка с файлами	
TypeDEFS	31.03.2018 16:23	Папка с файлами	
Bool_value_Delay	25.03.2018 14:59	LabVIEW Instrume...	16 КБ
Bool_value_Delay_2	25.03.2018 15:00	LabVIEW Instrume...	16 КБ
Calculate_Bound	31.03.2018 19:43	LabVIEW Instrume...	20 КБ
Clear_graph	26.03.2018 21:54	LabVIEW Instrume...	18 КБ
Disable_play	31.03.2018 17:25	LabVIEW Instrume...	15 КБ
Enable_play	31.03.2018 17:27	LabVIEW Instrume...	14 КБ
Enqueue	01.04.2018 8:00	LabVIEW Instrume...	18 КБ
Generate_waveline	26.03.2018 21:09	LabVIEW Instrume...	17 КБ
MAIN	01.04.2018 7:41	LabVIEW Instrume...	151 КБ
Pure_Delay	26.03.2018 21:10	LabVIEW Instrume...	14 КБ
Queue_in	26.03.2018 20:44	LabVIEW Instrume...	14 КБ
WaveLine_ris	26.03.2018 21:53	LabVIEW Instrume...	26 КБ

Fig. 13 - Elements of the simulation model

The top-level MAIN.VI program interface, presented below, consists of the following groups of system objects.

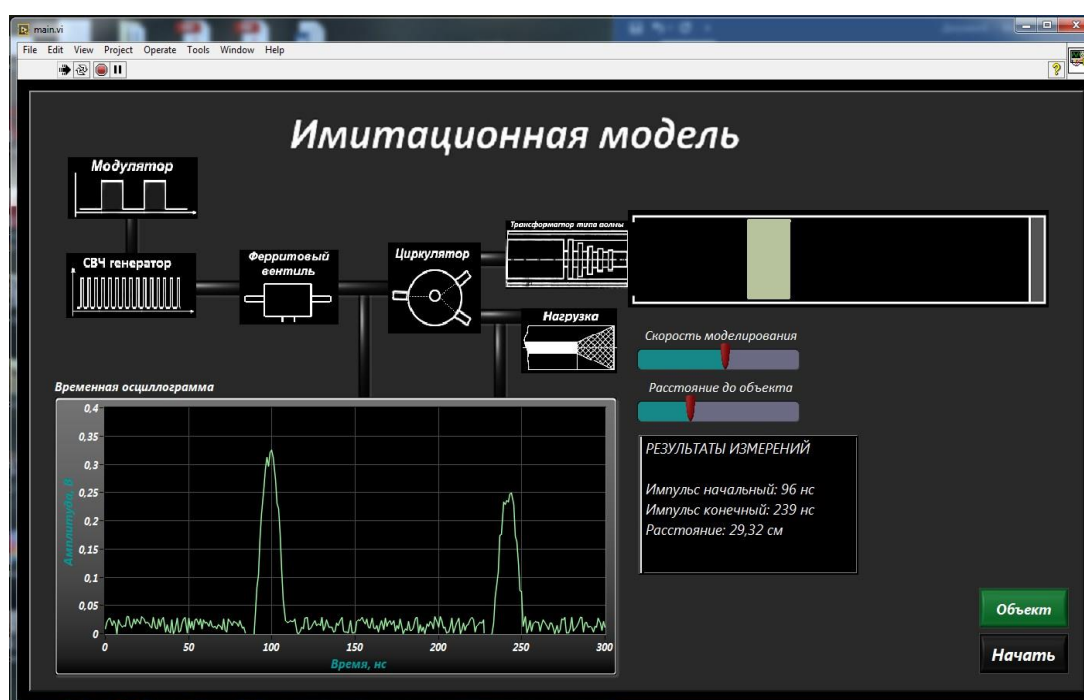


Fig. 14 - Interface of the program

**Group 1.** The elements of this group are drawn objects of type Boolean. They have 2 states: False (black color) - when the object is not active, True (green color) - when the object is active. Consists of components:

8. Modulator
9. Microwave generator



10. Ferrite isolator
11. Circulator
12. Wave mode transformer
13. Matched load
14. Simulators of connections between them

**Group 2.** There are 2 objects of type Graph in the program:

Graph 1. Displays the waves that are incident and reflected on the object, as well as the drawing of the object itself.

Graph 2. Display on the oscillogram of the pulses detected by the detectors.

**Group 3.** Software components.

The "Start" button is an element of the Boolean type. When you click on it, you simulate the experiment. To start again, you must wait for the current experiment to finish.

Button "Object" is an element of type Boolean. Its active state indicates that there will be an object in the pipe that appears on Graph 1. Also, the distance to the object becomes available to change.

The "Modeling speed" slider. Adjusts the speed of the experiment run (from 100 ms to 3 s). The program represents the time that one of the objects in group 1 will be in the active state.

The Distance to Object slider. Adjusts the position of the object in the pipe. Active only when you click the "Object" button

The text indicator. Displays the results of the experiment: the time of fixing the time pulses and the calculated distance to the object.

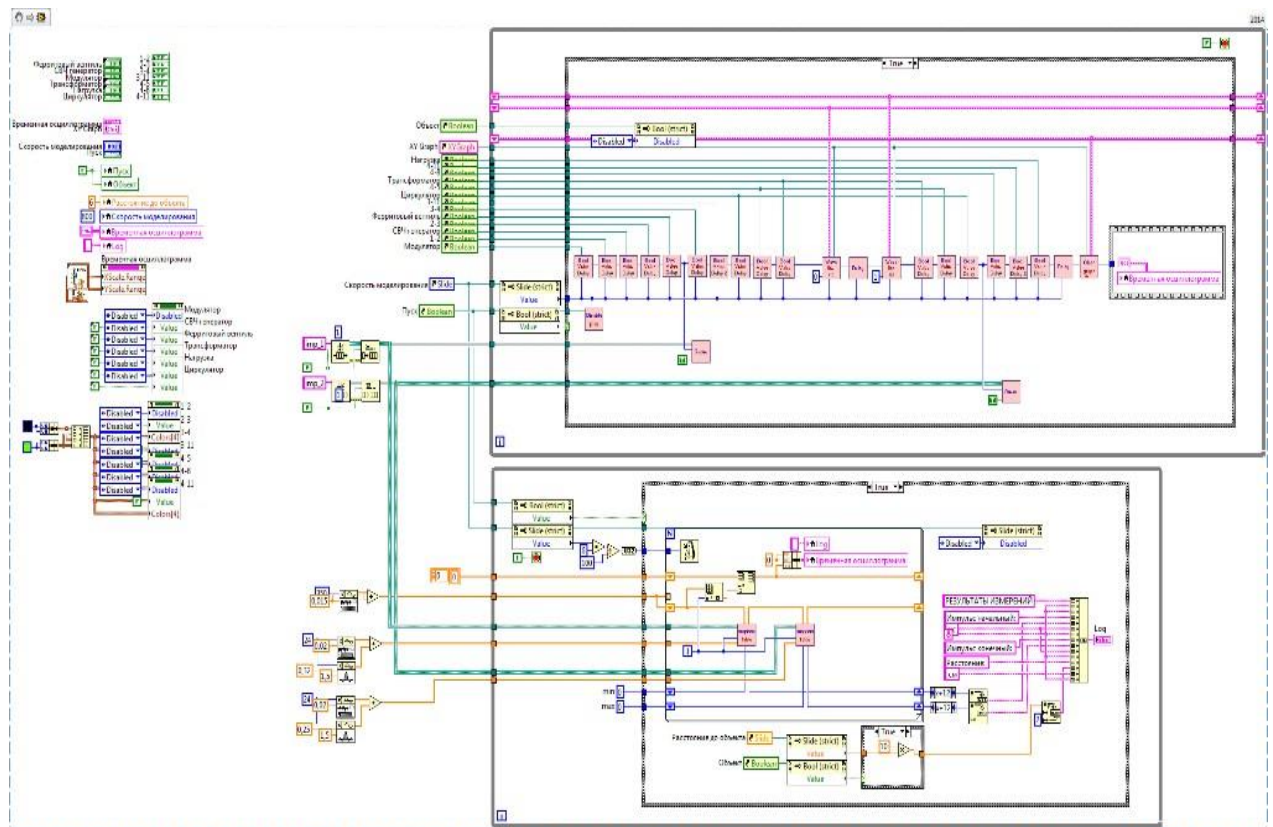


Fig. 15 - The top-level program code

#### 4. Setting initial values for all elements of the system

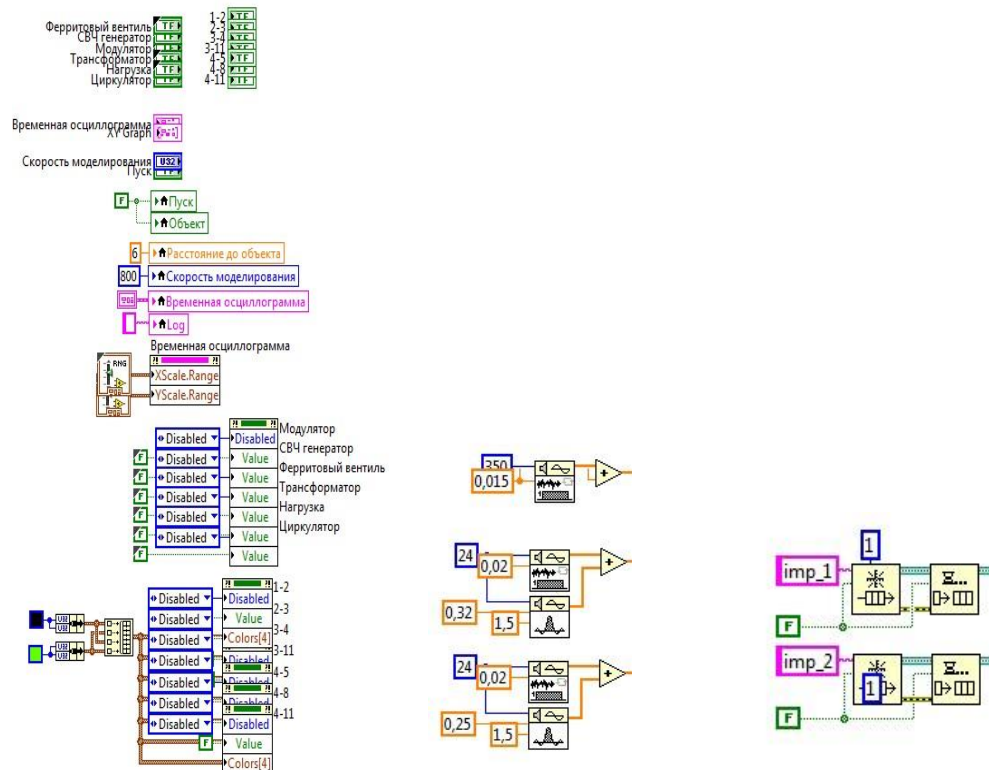


Fig. 16 - The program code for setting initial values

2. The cycle of the model in which the states of the objects in Group 1 are sequentially changed, the data is plotted on Graph 1, the imitation of the pulse detection and sending to the oscilloscope cycle. It also calculates the distance to the object in the pipe, in accordance with this, the required wavelength of the wave in the pipe is generated.

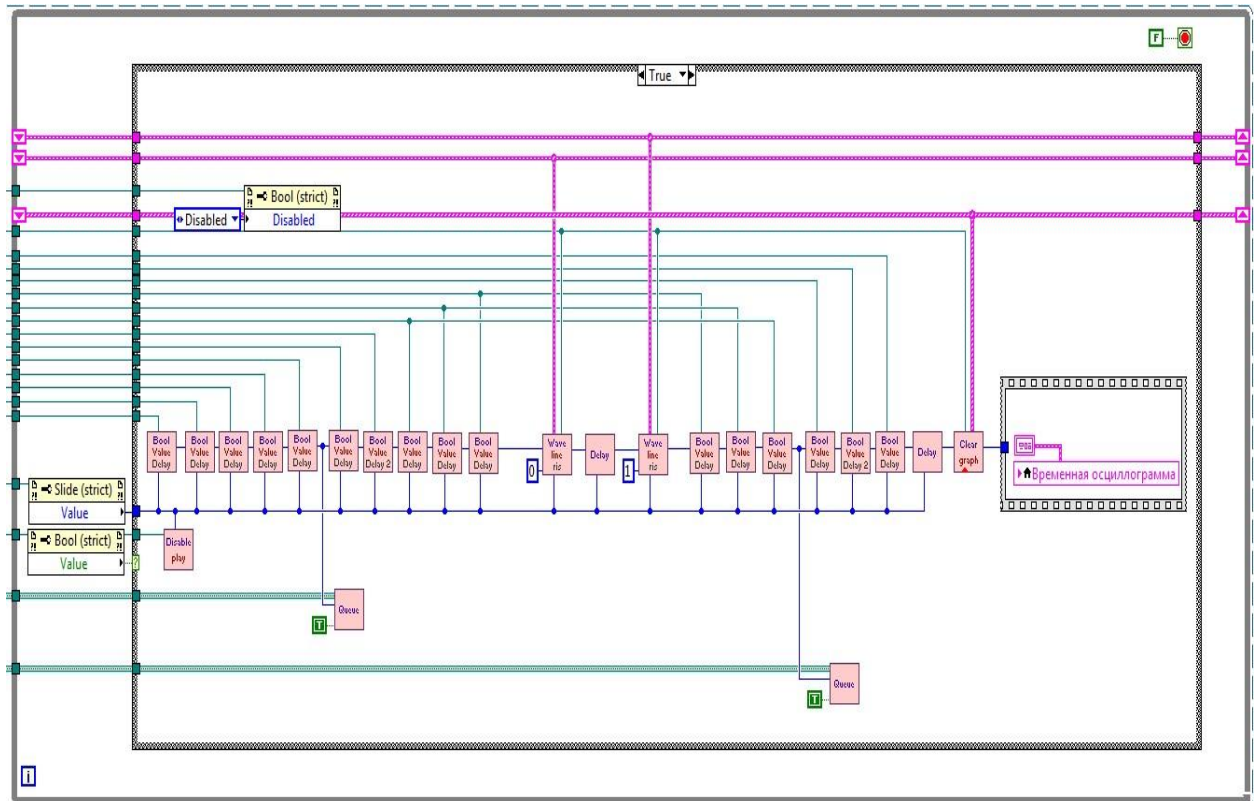


Fig. 17 - The code of the program for simulating the detection of an impulse and sending it to an oscilloscope cycle

3. The oscilloscope cycle, in which the noise signal at a level up to 0.05V is drawn in the usual state, and when a command from the model cycle is drawn, bursts simulating the detection of the microwave pulse. After the cycle is completed, the peaks are searched for on the oscillogram and the results are written to a text indicator.

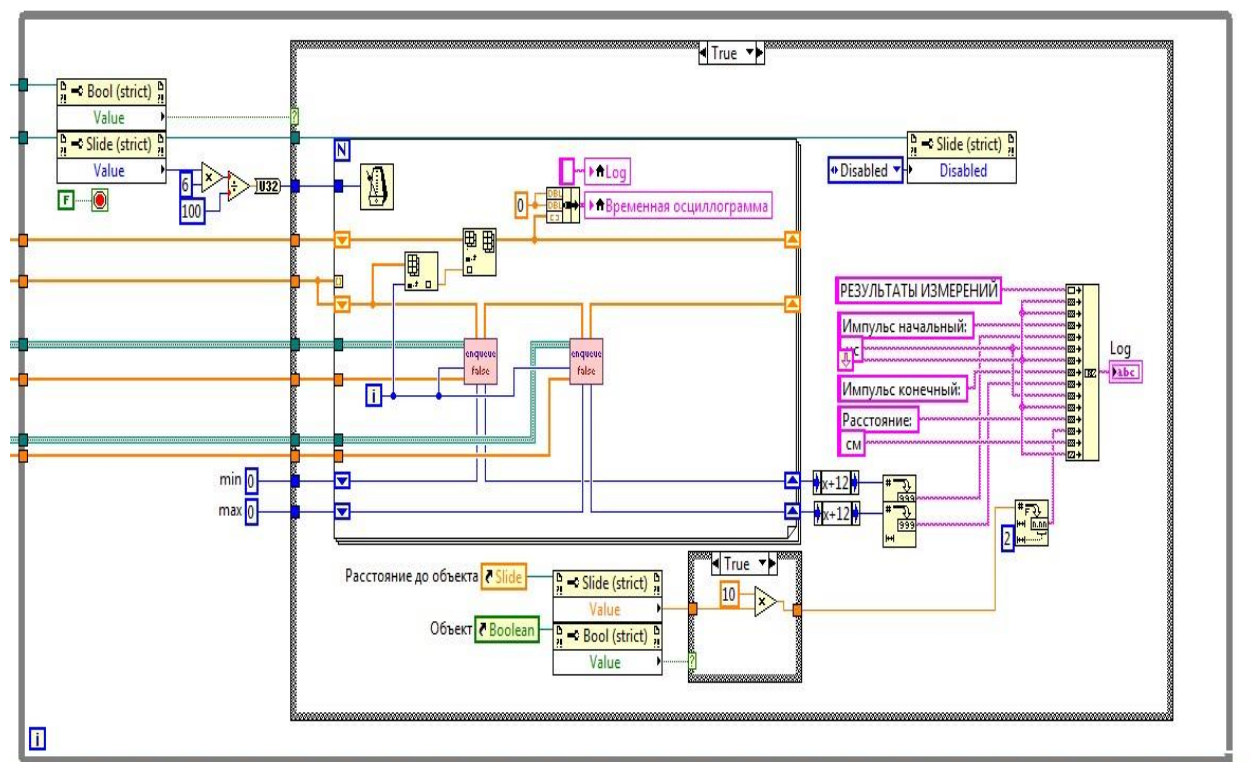


Fig. 18 - Oscilloscope Cycle Program Code

The program is launched by clicking on the arrow highlighted in green, stopping at the red circle.

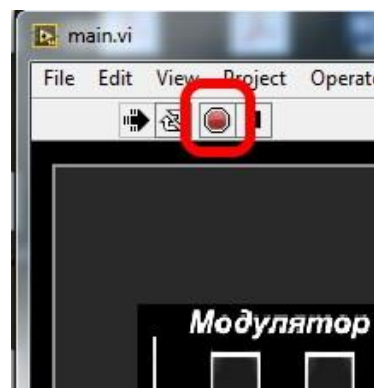
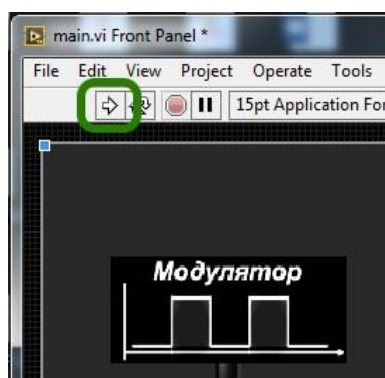


Fig. 19 - Appearance of the interface for starting and stopping the program

Having tested the finished program of the simulation model, it can be concluded that it is effective for calculating the time interval intervals and calculating the distance to hydrate blocks. It is necessary to refine it in order to have a clear picture and understand the state of gasoline pipeline at the area under investigation.

## 4.2 Development of the main program for work at the field.



After the development of the simulation model, the task was set for programming a program for detecting hydrate formations in gas mains. It was necessary to refine the existing one, since it was impossible to judge the state of the pipeline for the presence of hydrate blocks. It was necessary to visualize the area under investigation to monitor the results of measurements in real time.

#### 4.2.1 Stages of programming.

1) The surveyed area map showing 12 sections of the 12.0 m long pipeline was presented, and the location of the microwave probe and the receiver of the reflected microwave pulse for the reference point reference was indicated.

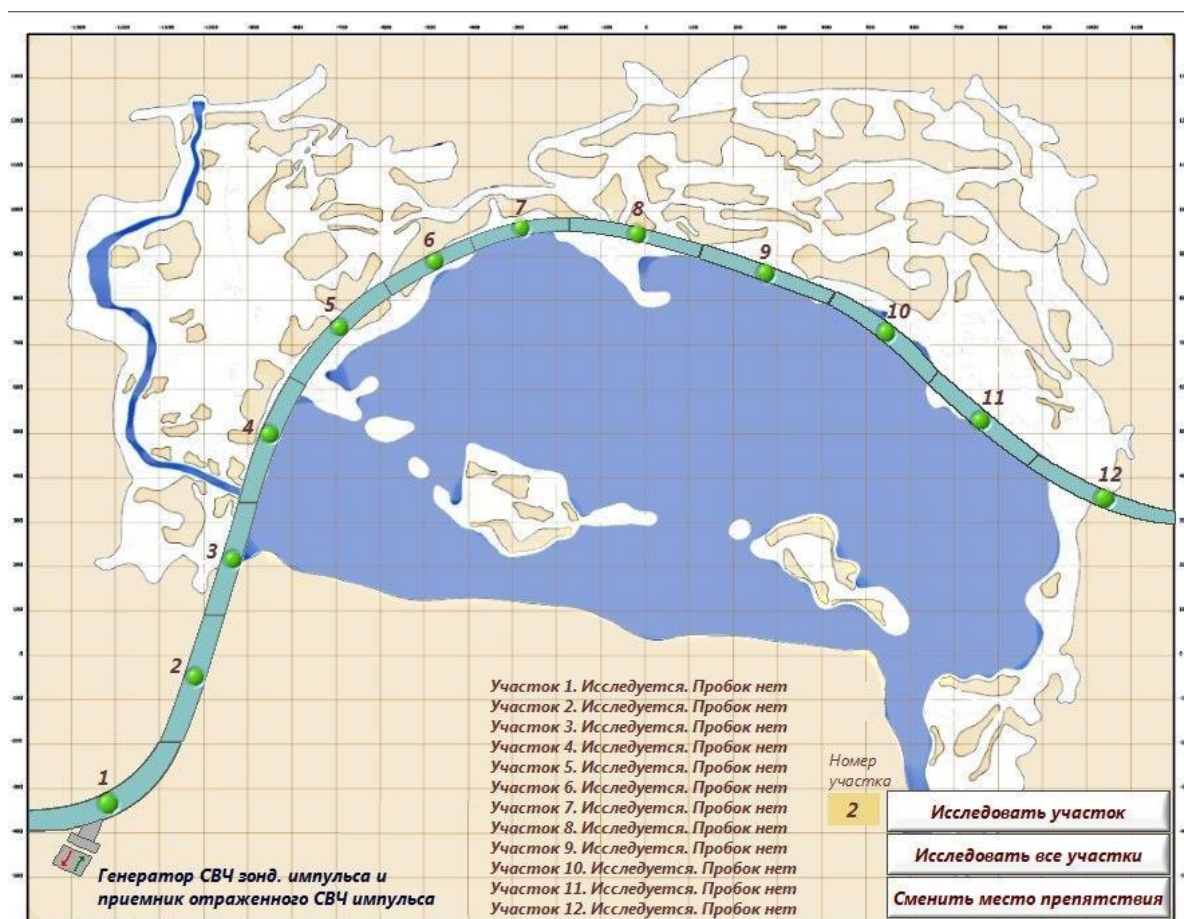


Fig. 20 - Interface of the program

Stages of map evolution and drawing of pipeline sections are presented in the "images" folder in the program folder.

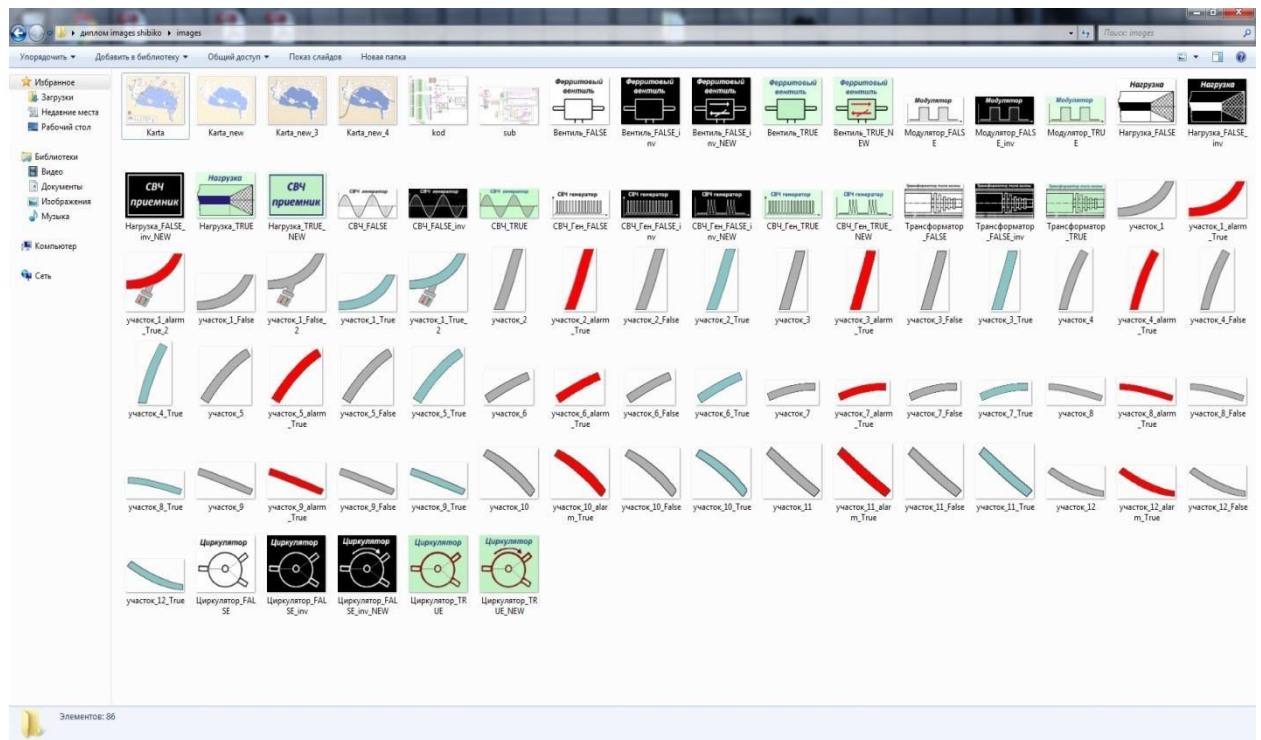


Fig. 21 - Folder "images" with graphic elements

2) Further, two subprograms were combined together: "Simulation model" and "Basic program". Now it looks like in Fig. X

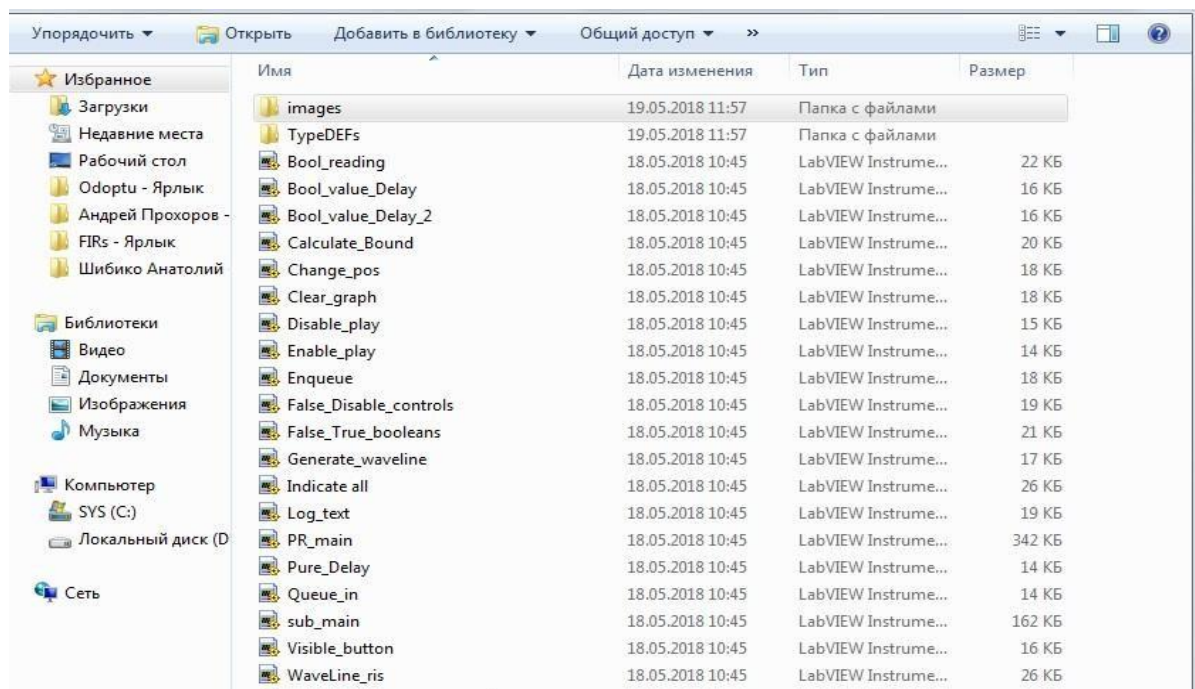


Fig. 22 - The main program folder

3) The main program is called PR\_main. The program is launched by pressing the "arrows", stopping at the "red circle".

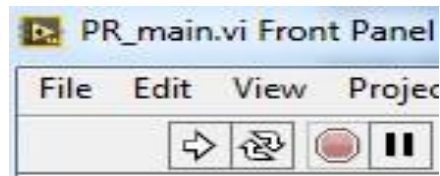


Fig. 23 - Program start and stop buttons

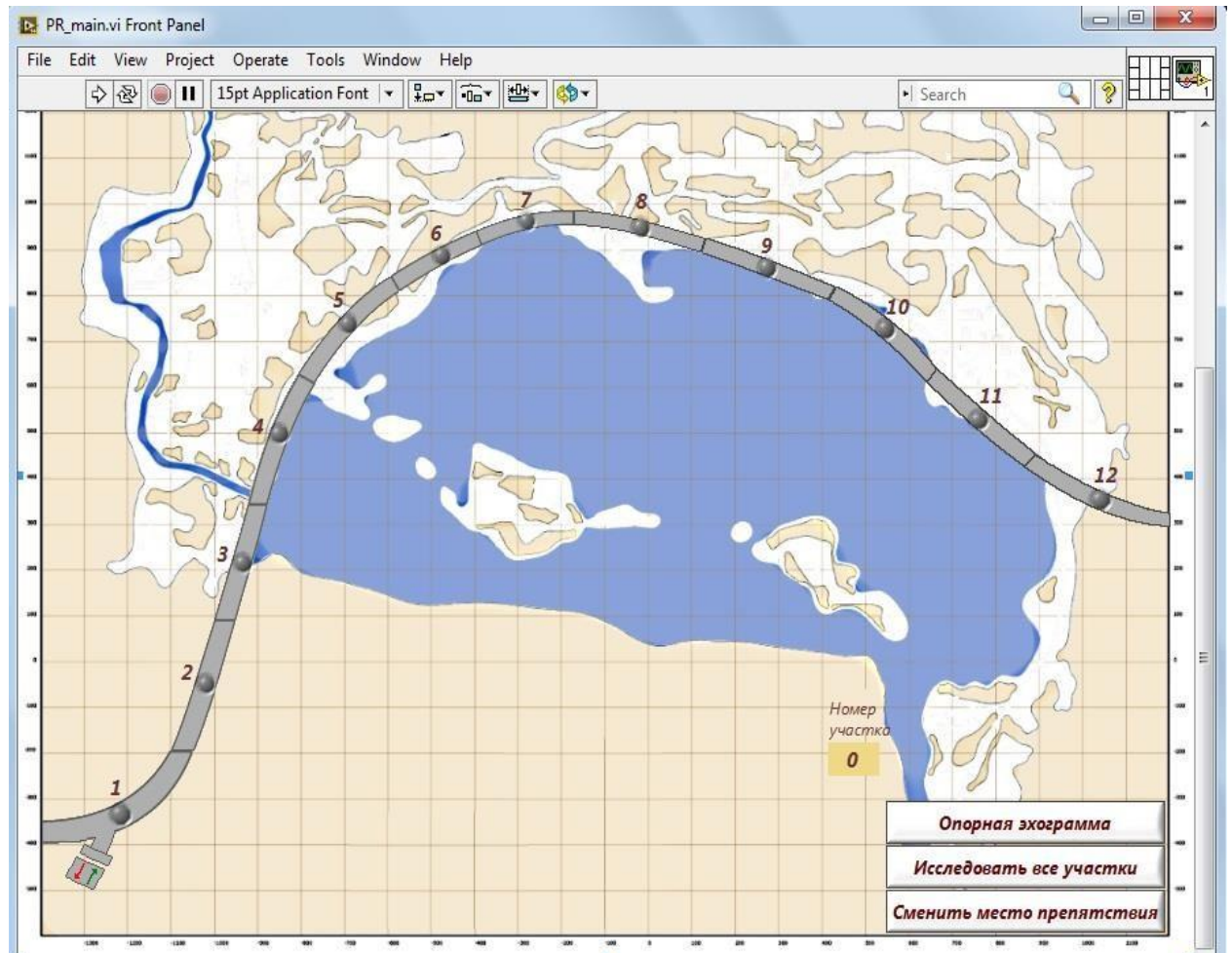


Fig. 24 - The program interface on the unlocked state 4)

In the program, each button has its own function::

6. Twelve round gray buttons in the middle of the pipes - pressing is responsible for the function "investigate / not explore the pipe section". When you start the program, everything is reset, so before starting - clicking on them does not make any sense.

7. Button "Reference echogram" for measuring the readings of the reference echogram during the construction of the main gas pipeline.

8. "Explore all sections" button. When it is pressed in the microwave generator, a microwave pulse is excited to probe all sections of the main gas



pipeline shown on the map of the investigated area. Button "Change obstacle location" to simulate hydrate formation at one of the sections of the main gas pipeline.

9. "Explore the site" button. When it is pressed, a subroutine with a model is opened to calculate the distance to the hydrate plug.

Figure 25 shows the program code. In contrast to the simulation model of the laboratory installation, there is one cycle. Duration of iterations 150 msmc.

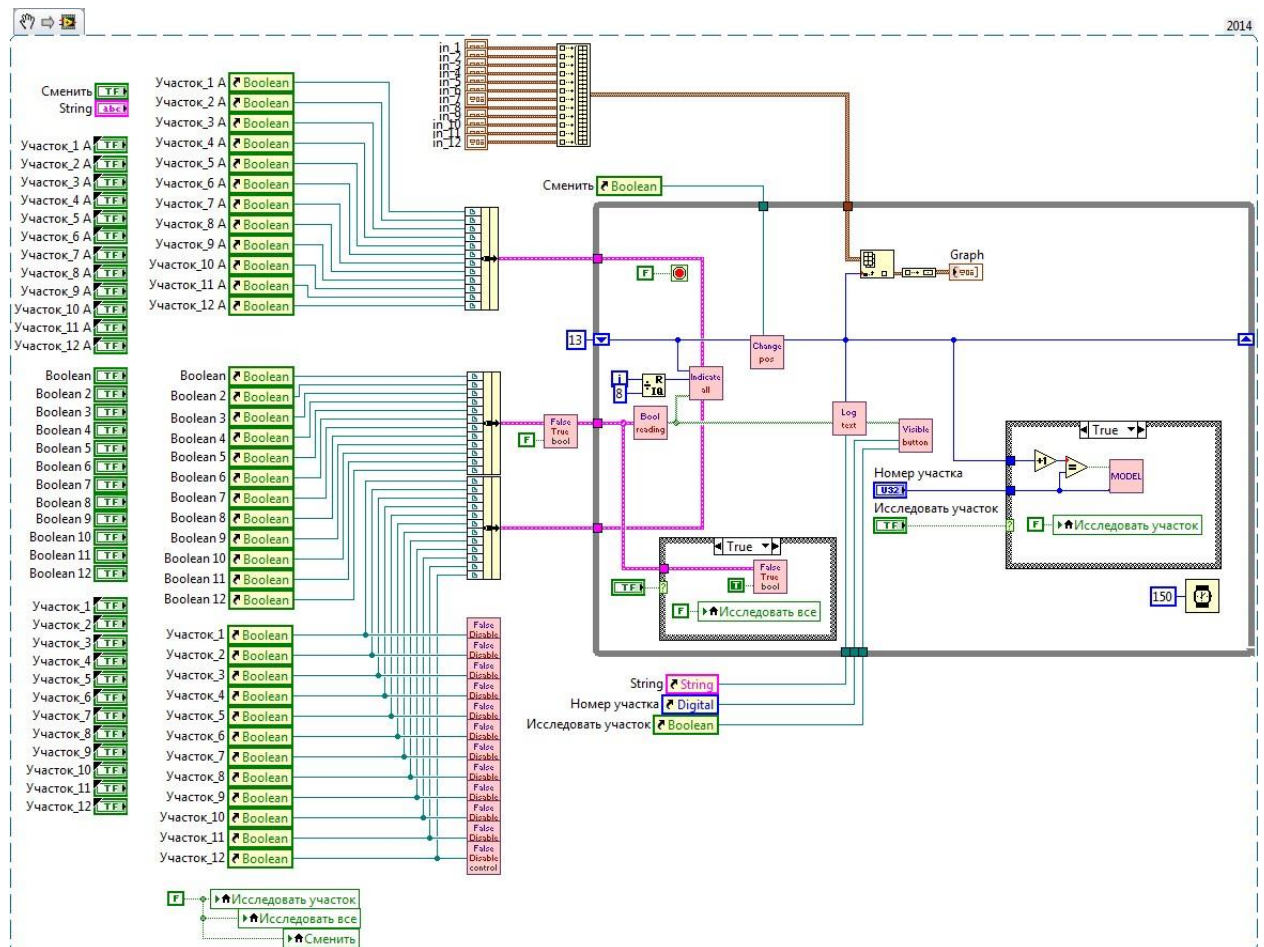


Fig. 25 - Top-level code of the main program

Figure X presents the controls and their initial "zeroing" so that the initial state of the system is always the same. "Plot\_1" - "Plot\_12" - these are sections of the pipe with green color. "Plot\_1\_A" - "Plot\_12\_A" - with red. If the area with a hydrate plug, then the red patches are superimposed on the green ones - this causes blinking. Boolean\_1 - 12 are gray circles in the middle of the pipes.



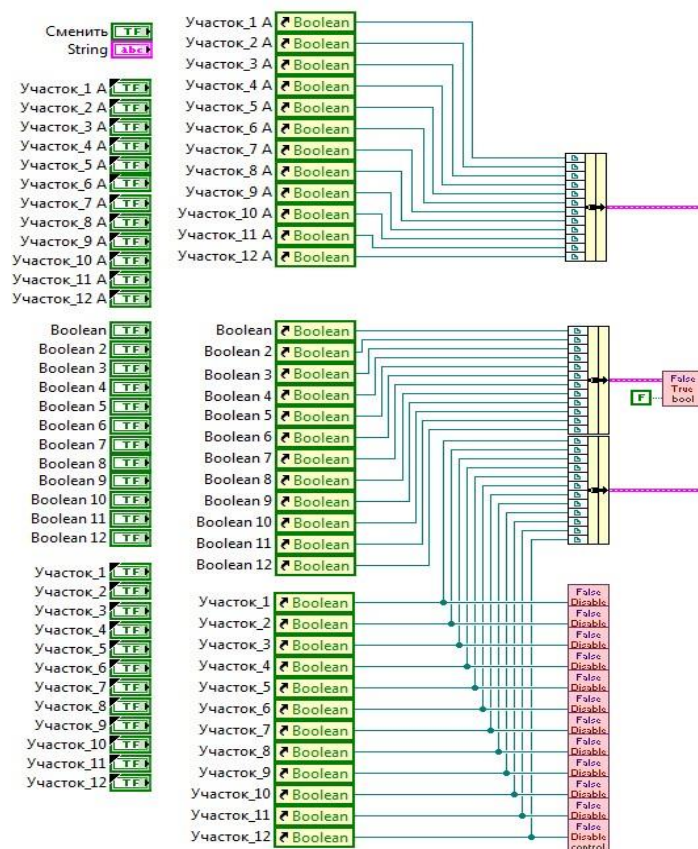


Fig. 26 - Control elements of the state of pipe sections responsible for the color of the indication

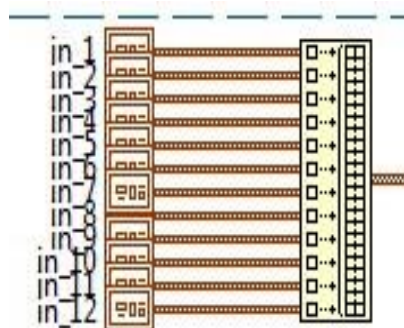


Fig. 27 - Control elements of the state of pipe sections responsible for detecting the hydrate block

Figure 28 shows the main program cycle



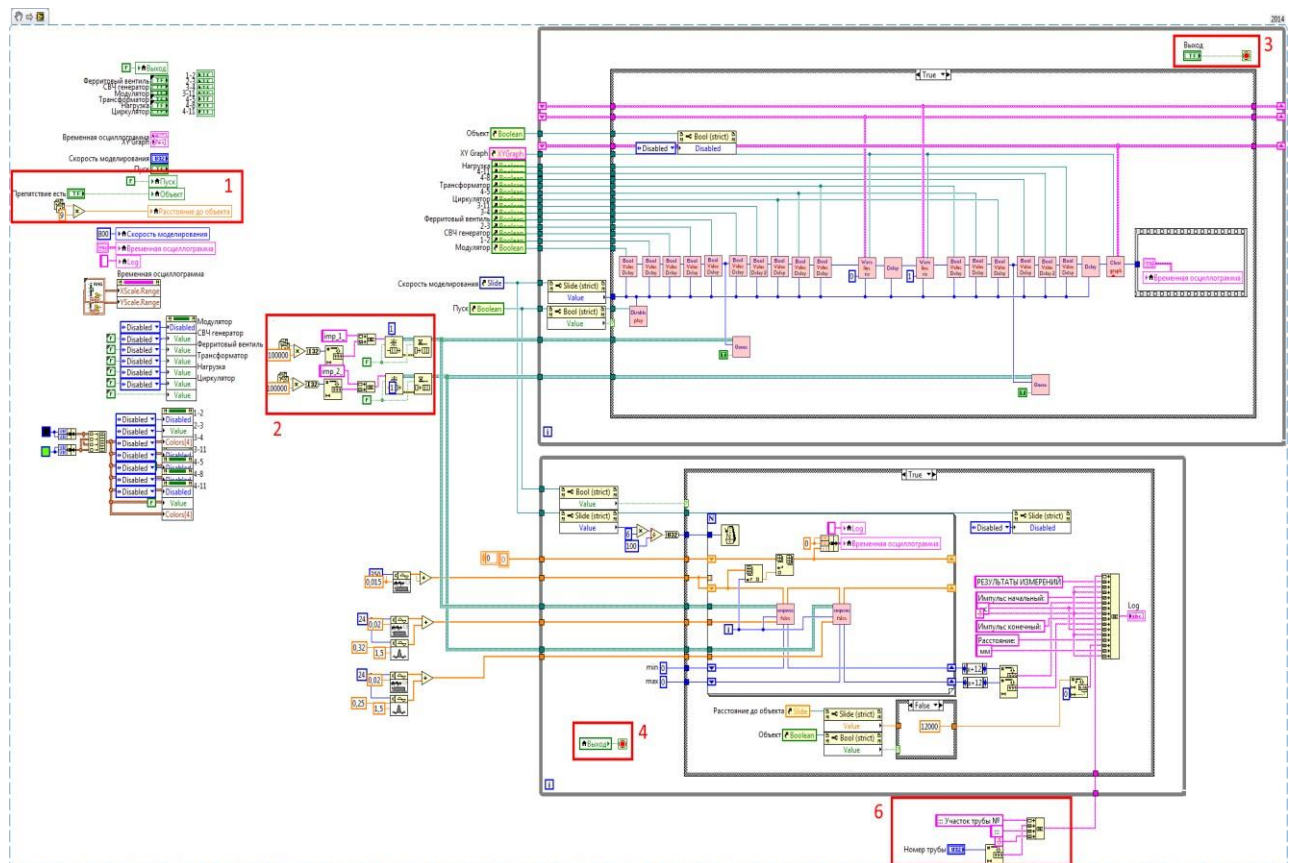


Fig. 29 - Modified code of the simulation model of the laboratory installation Main changes:

1. The connection with the main program is added - it is necessary to know whether a hydrate formation was found. If not, then the program works in the normal mode, if there is, then the "Object" button is turned on. The distance to the hydrate plug is set randomly.
2. To call this program many times, you need to allocate memory to a new cell. To do this, I create an area again under a new queue.
3. Previously, the loop was infinite, now exit the program with the "Exit" button
4. Similarly, exit from the cycle with an oscillogram and calculations by the "Exit" button
5. Rectangle 6. This change is in the record of the results. Now we write what area is investigated and the distance to the defect is calculated.

#### 4.2.1 Sequence of actions of the operator at work to the program.

The program is designed for the operator, which connects the model from the installation to the pipeline and starts the microwave generator, whose microwave pulse is inserted into the pipeline through a special input window. The operator analyzes the state of sections of the main gas pipeline on the PC monitor screen.

Initially, it is necessary to measure the readings of the reference echogram for further analysis of the presence of a defect. All this is done at the stage of construction of the main gas pipeline..

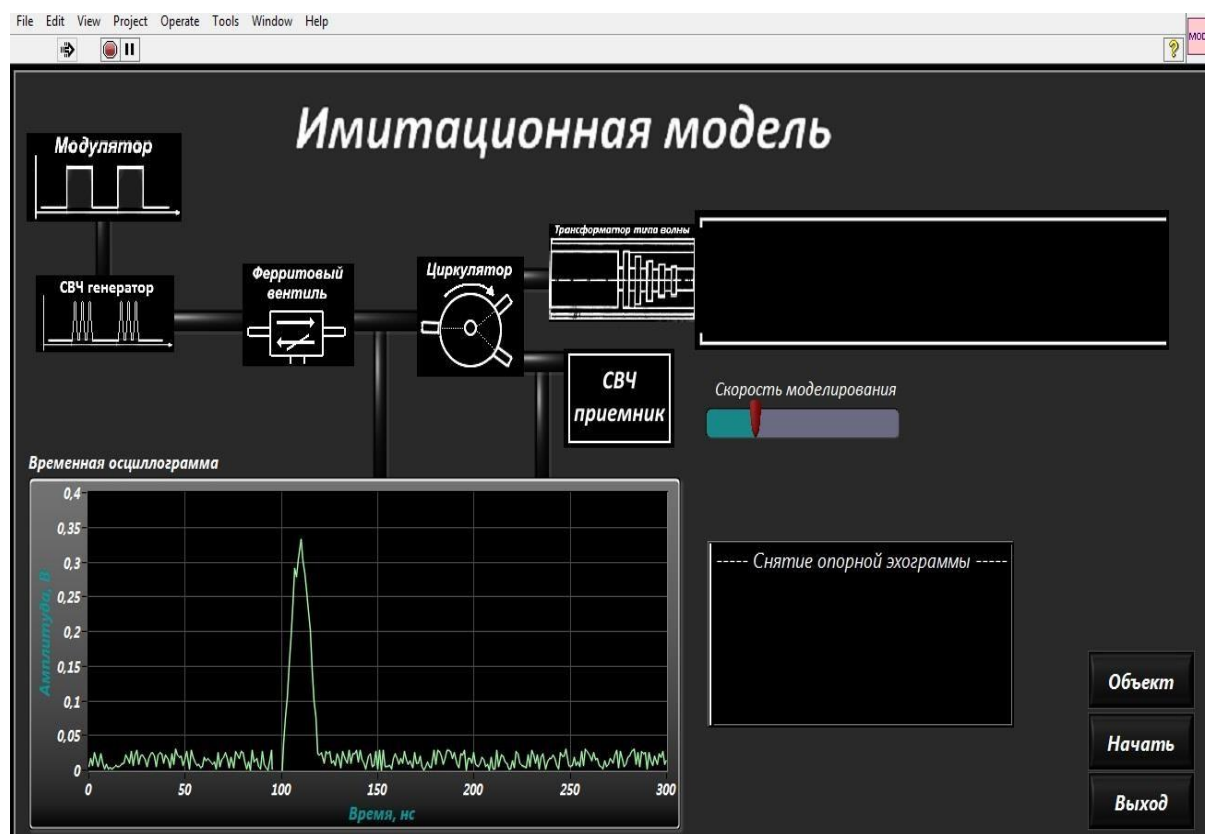


Fig. 29 - Removing the echogram

The program can set the number of sites for data analysis. It can be analyzed as a separate section of 12.0 meters in length, and all 12 plots.

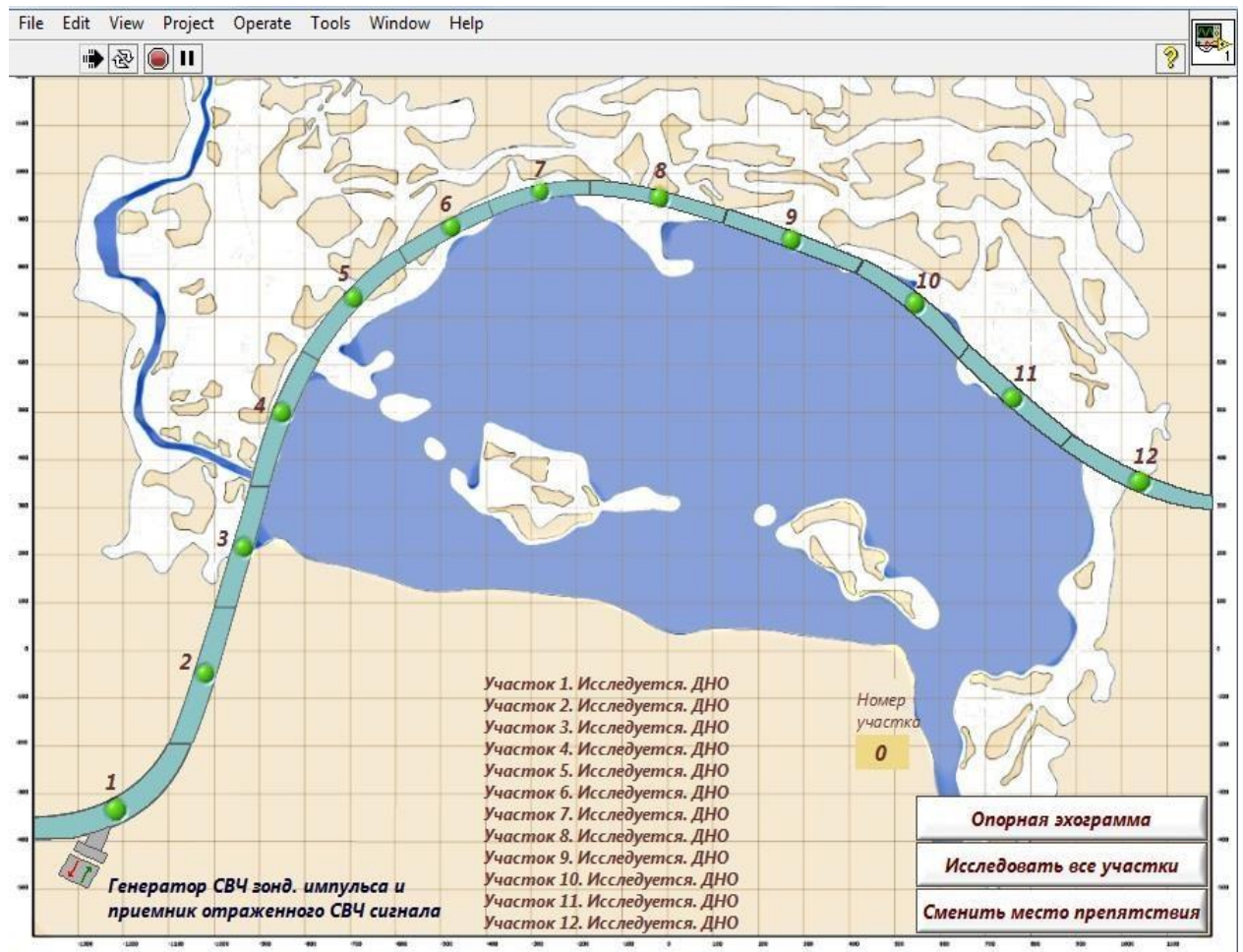


Fig. 30 - The program's interface is at a failed state

The investigated areas are highlighted in green. When the hydrate formation is located, the program interface allows to display the mark of the reflected pulse from the hydrate plug on the controlled section of the pipe..



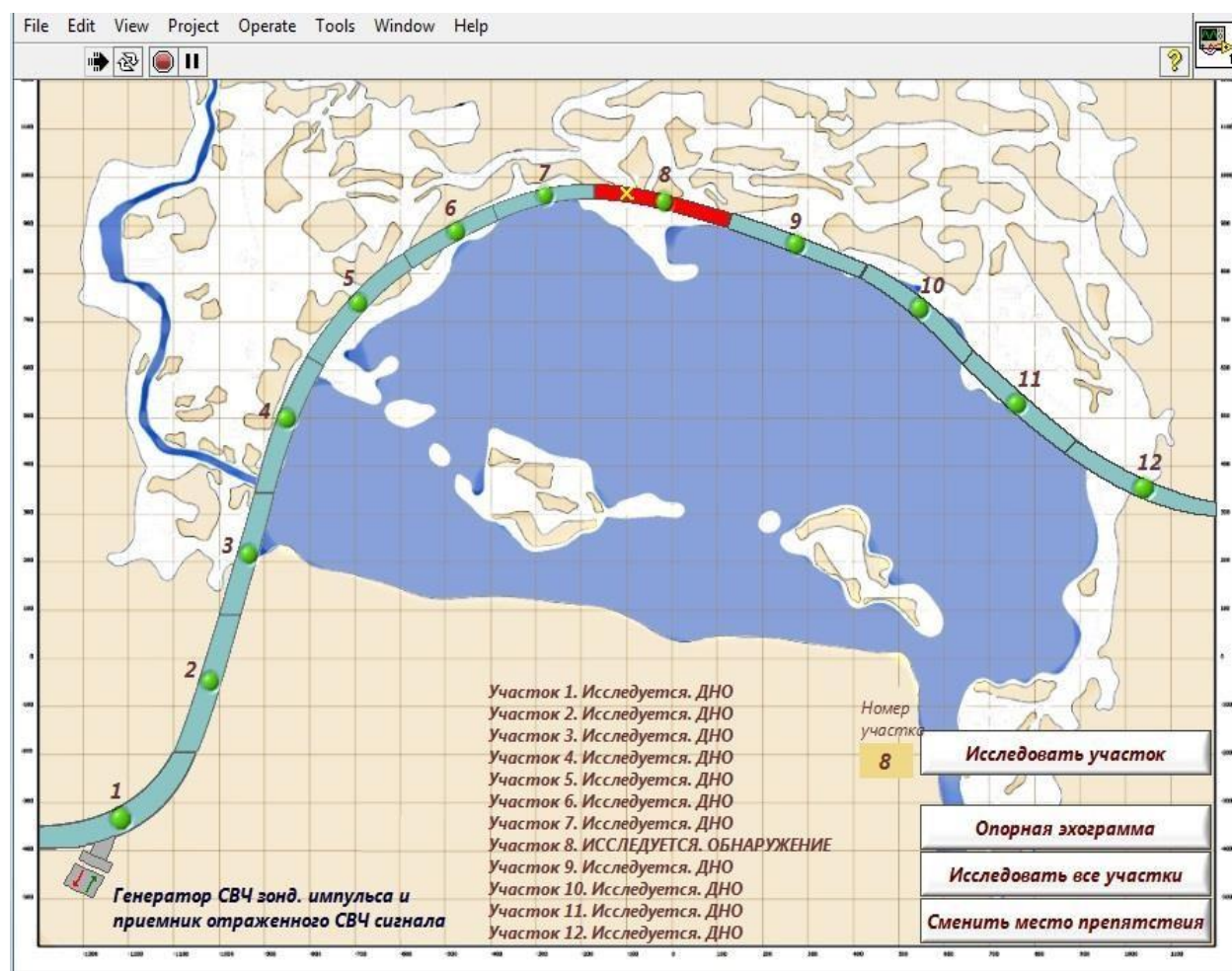


Fig. 31 - Indication of hydrate blocks

Further in the interface of the program we enter the number of the site on which the hydrate formation is detected and click on the "Investigate the site" button.

A new window is displayed in which information is displayed on the status of the pipeline section being monitored.

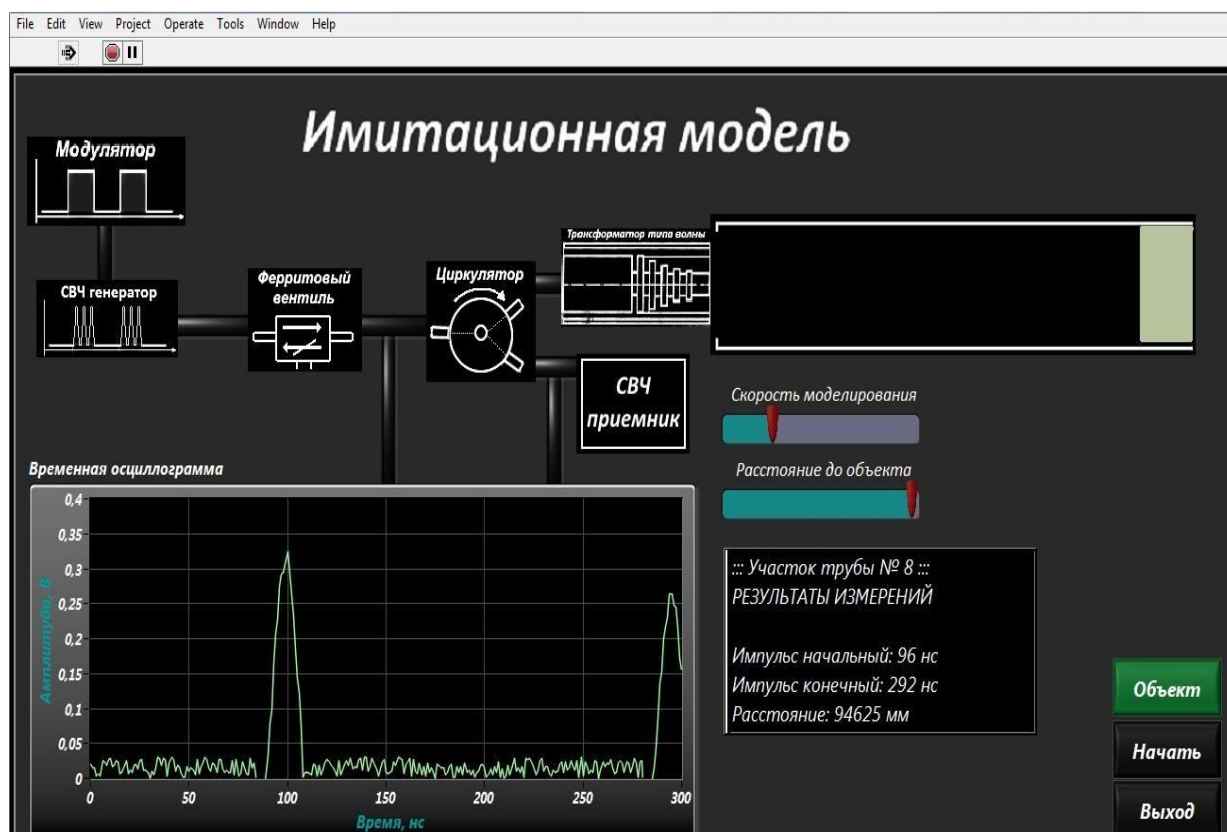


Fig. 32 - Program interface of the defective site

Then click on the "Start" button the calculation is made, due to which the time on the oscillogram between the probing and reflected pulses is estimated, and then the distance from the input of the probe pulse to the location of the hydrate blocks is calculated. The measurement results are displayed on the monitor screen to the right of the time waveform.

Knowing the distance, the operator should immediately inform the main supervisor of the facility about immediate measures to eliminate the hydrate block.

After testing the system for analyzing the state of the main gas pipelines for the presence of hydrate blocks, we can conclude that it is applicable in real field conditions. It is necessary to refine the model to increase the length of the scanned section.